

WELCHE FAKTOREN SIND BEI DER VERARBEITUNG

DER SILBER-ZINN-AMALGAME VON BEDEUTUNG ?

Kritische Betrachtung und Auswertung der Literatur der letzten zehn Jahre

VON

INGRID HEYM

Mainz 1963

Aus der Konservierenden Abteilung
(Leiter: Prof. Dr. J. Kluczka)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. Dr. M. Herrmann)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

WELCHE FAKTOREN SIND BEI DER VERARBEITUNG

DER SILBER- ZINN- AMALGAME VON BEDEUTUNG ?

Kritische Betrachtung und Auswertung der Literatur der letzten zehn Jahre

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde der

Hohen Medizinischen Fakultät der

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

INGRID HEYM

Zahnärztin

aus

Gronau

MAINZ 1963

Dekan: Professor Dr. Dr. E. Wagner
Referent: Privatdozent Dr. Dr. P. Riethel
Korreferent: Professor Dr. J. Kluczka
Tag der mündl. Prüfung: 19. Juli 1963



Gesamtherstellung:

DITTERS BÜRODIENST, MAINZ, Augustinerstraße 64-66

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung	1
I. Das Amalgam und seine Eigenschaften	1
1) Dimensionsverhalten	1
2) Verzögerte Expansion	9
3) Fließen	10
4) Härte	14
5) Festigkeit	16
6) Alterung	19
II. Das Amalgam als Füllungsmaterial	21
1) Zubereitung	22
2) Kondensation	29
3) Politur	38
4) Die Amalgamfüllung	42
Die amerikanische Spezifikation Nr.1	45
III. Zusammenfassung	48
Literaturverzeichnis	51

EINLEITUNG

Amalgame sind Legierungen des Quecksilbers mit einem oder mehreren anderen Metallen. Nach der Anzahl der Legierungskomponenten unterscheidet man binäre Amalgame (z. B. Kupferamalgame) und zusammengesetzte Amalgame, zu denen die in der Zahnheilkunde seit etwa 100 Jahren gebräuchlichen Silber-Zinn-Amalgame gehören. Sie stellen heute das am meisten verwendete Füllungsmaterial überhaupt dar.

Bei Beachtung der richtigen Indikation ist das Amalgam ein guter und dauerhafter Füllstoff. Jedoch sollte seine anscheinend so leichte und bequeme Handhabung nicht darüber hinwegtäuschen, daß es in der Zahnheilkunde kaum einen Werkstoff gibt, "bei dem soviel Verarbeitungs-Variationen und -Fehler möglich sind" (Rheinwald, N., 1955).

Trotz dieser Tatsache sind mit Amalgam nach den Untersuchungen Markleys, M. R., 1951 u. a. bis auf den heutigen Tag mehr Zähne erhalten worden als mit allen anderen Füllmaterialien zusammen. Auch die Zahl der Mißerfolge ist prozentual niedriger als bei anderen Füllstoffen (Healey, H. J. und R. W. Phillips, 1949); sie liegen weniger im Material selbst als in seiner Verarbeitung.

Hier erhebt sich nun die Frage: Wie soll man das Amalgam verarbeiten, um ein Optimum seiner Eigenschaften zu erreichen? Bevor der Versuch unternommen wird, aus der Literatur eine Antwort zu finden, sollen zunächst einige physikalische und mechanische Eigenschaften des Füllungsmaterials abgehandelt werden.

I. DAS AMALGAM UND SEINE EIGENSCHAFTEN

Dimensionsverhalten

Nach den Spezifikationen Nr. 1 des National Bureau of Standards (NBS) in Washington sollen die Amalgame nach 24 Stunden eine Expansion von $3 - 13 \mu/\text{cm}$ haben. Diese Forderung gilt für frei erhärtende zylindrische Proben von 10 mm Höhe und 4 mm Durchmesser, hergestellt aus Legierungen mit mindestens 65% Silbergehalt. Der Meßbeginn liegt 15 Minuten nach dem Anrühren.

Fast alle Füllungsamalgame unterliegen während der Erhärtung Volumen-

änderungen. Einer primären oder Initialkontraktion bis zu einem charakteristischen Tiefpunkt folgt eine Expansion, der sich wieder eine geringe sekundäre Kontraktion anschließt. Von Interesse ist vor allem die Höhe der Endexpansion, die negativ oder positiv ausfallen kann und die nach heutiger Ansicht für eine zufriedenstellende Füllungstherapie mit ausreichendem Randschluß maßgebend ist.

Die Messung der linearen Ausdehnung der Amalgamproben kann mit Interferenzstrahlen, Mikroskop, Dilatometer oder Mikrokator erfolgen. Franke, K., 1953, Fischer, C.-H. und K.Franke, 1954 und Patermann, H., 1955 vergleichen in ihren Untersuchungen die verschiedenen Meßmethoden miteinander. Es werden Meßschwankungen während der Erhärtung der Amalgamprüfkörper bei den verschiedenen Geräten gefunden; die Werte der Endexpansion sind jedoch etwa gleich. Das Mikroskop liefert etwas höhere Werte als der Mikrokator; der ganz geringe Meßdruck bei letzterem spielt hierbei wohl eine gewisse Rolle.

Die Volumenmessungen sollen nach der Spezifikation erst 15 Minuten nach Triturationsbeginn vorgenommen werden. Schill, H.-J., 1956 kann bei seinen Versuchen feststellen, daß aber gerade in dieser Zeit erhebliche Dimensionsänderungen vor sich gehen. Es wird also ein Teil der Initialkontraktion umgangen und somit auch nicht der tatsächliche Endexpansionswert (dieser liegt niedriger) ermittelt. Bei Füllungen im Munde setzen aber sofort nach dem Stopfen die Dimensionsschwankungen ein, so daß eine Revision der NBS-Forderungen im Hinblick auf den konstant festgelegten Meßbeginn angebracht wäre.

Kleimann, W., 1953, Fischer, C.-H. und W. Kleimann, 1954 und Kullmann, I., 1954 untersuchen das Dimensionsverhalten frei erhärtender Amalgamprüfkörper (nach Vorschrift der Spezifikation) und das Dimensionsverhalten von "Amalgamfüllungen" in Phantomkavitäten (ähnlich den Verhältnissen im Munde) bei hoch- und niedrigprozentigen Legierungen. Es zeigt sich, daß die Expansion in der künstlichen Kavität etwa um die Hälfte gegenüber dem freien Probekörper sinkt; wahrscheinlich geht durch Stauchungsvorgänge ein Teil der freien Expansionskraft verloren. Die NBS-Forderung nach einer Ausdehnung von $3 - 13 \mu/\text{cm}$ erscheint also nicht praxisnah genug, solange sie nur auf freiliegende Versuchskörper bezogen wird. Ein Amalgam mit mehr als 13μ freier Expansion ist nicht unbedingt ungeeignet als Füllmaterial (vergl. auch Fischer, C.-H., 1953).

Immer wieder wird die Notwendigkeit von Laboratoriumsprüfungen hervorge-

hoben, jedoch sollten diese möglichst weitgehend den Bedingungen im Munde gerecht werden (Lacroix, R., 1951, Bonsack, Ch., 1951, Docking, A.R., 1958 u. a.).

Zahlreiche Faktoren haben einen Einfluß auf das Dimensionsverhalten der Amalgame. Zu nennen sind zunächst die chemische Zusammensetzung der Legierung, Größe und Form der Feilungspartikelchen sowie Vorbehandlung und Alterung der Feilung.

Mit steigendem Silbergehalt nehmen die primäre Kontraktion zeitlich und räumlich ab und die Endexpansion zu (Lane, J. R., 1949, Greisel, H.-P., 1950, Ilg, V. K., 1951 und 1953, Lacroix, R., 1951 und 1954, Steidle, K., 1954, Freidank, O., 1956, Werner, K.-J., 1956).

Eine Erhöhung des Zinnanteils der Legierung hat eine Abnahme der Expansion zur Folge (Lane, J. R., 1949, Greisel, H.-P., 1950, Lacroix, R., 1951).

Das Kupfer dient als Silberersatz und erhöht die Expansion (Greisel, H.-P., 1950, Lacroix, R., 1951).

Mit einer Verkleinerung der Teilchen und damit vollkommenerer Amalgamation ist eine größere primäre Kontraktion und eine Abnahme der Expansion verbunden (Lane, J. R., 1949, Taylor, N. O., W. T. Sweeney und D. B. Mahler, 1950, Ilg, V. K., 1951, Helbig, K., 1951, Jarabak zit. nach Lacroix, R., 1951, Haubeil, J., 1953, Lacroix, R., 1954, Ficht, A. und C.-H. Fischer, 1954, Hagedorn, F., 1956, Riethe, P., 1958).

Smith, E. A., 1949 schlägt eine sorgfältig kontrollierte Mischung von kleinen Teilchen verschiedener Größe zur Verarbeitung vor, damit von vornherein ein gewisser Ausgleich zwischen Expansion und Kontraktion vorhanden ist. Bei kleinen Teilchen beeinflussen außerdem Anmisch- und Kondensationstechnik weniger stark die Dimensionsänderungen.

Ilg, V. K., 1951 hält ein Amalgam mit möglichst gleicher Teilchengröße für günstig oder ein Amalgam, bei dem eine Entmischung der verschieden großen Partikel durch seine Handelsform nicht möglich ist. Es sollte auf keinen Fall durch die Anmischmethode eine weitere Teilchenzerkleinerung erfolgen (leicht möglich bei sehr kräftigem Zerreiben im Mörser), die zur Kontraktion führt.

Freidank, O., 1956 kann bei Unterschieden in der Teilchengröße nur einen unerheblichen Einfluß auf das Dimensionsverhalten feststellen.

Zur Vorbehandlung der Legierung gehört bei den hochprozentigen Feilungen die Prä-Amalgamierung.

Riethe, P., 1958 untersucht das Volumenverhalten verschieden prozentiger aktivierter Amalgame. Ebenso wie die nicht voramalgamierten niedersilberhaltigen Legierungen zeigen aktivierte niedrigprozentige ein ungünstigeres Dimensionsverhalten als hochsilberhaltige. Durch die Prä-Amalgamierung wird jedoch früher die maximale Kontraktion und Expansion erreicht.

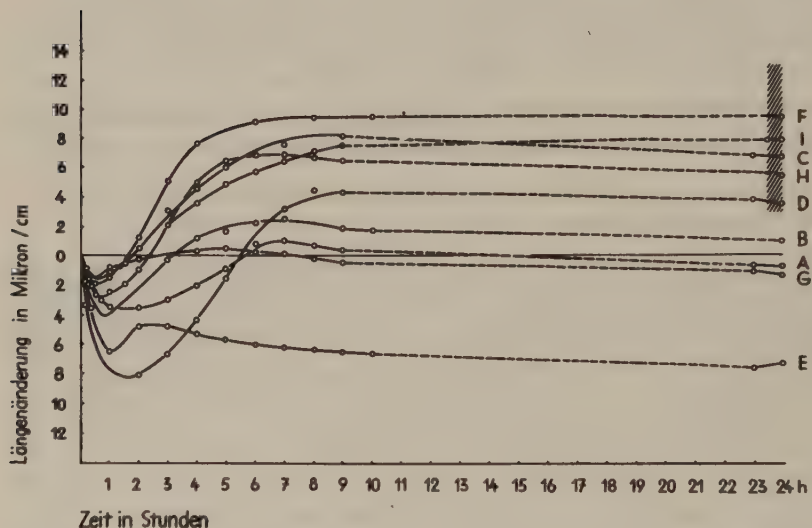


Abb.

Messung des Dimensionsverhaltens bei verschiedenen voramalgamierten Legierungen (Riethe, P., 1958, Abb.7, S.467)

Mit fortschreitender Alterung eines Amalgams gehen die Expansionswerte zurück (Ilg, V.K., 1951, Lotz, H., 1953, Fischer, C.-H. und K.Franke, 1954, Freidank, O., 1956, Werner, K.-J., 1956).

Der Einfluß des Silbergehaltes auf das Dimensionsverhalten, wenn überhaupt vorhanden, kann nach Werner, K.-J., 1956 durch Nachalterung überdeckt sein. Es ist selbst bei hochprozentigen Amalgamen eine negative Endexpansion möglich. Werner stellt bei ungealterten 50%igen und 67%igen Legierungen

gen einen höheren Quecksilberverbrauch und starke Expansion fest ohne vorherige Initialkontraktion. Die künstlich vorgenommene Alterung bis zu einem bestimmten Grad sorgt für eine gewisse Konstanz der Volumenschwankungen. Durch zu langes Lagern ergibt sich eine Abnahme der Expansionswerte.

Riethe, P., 1960 beobachtet bei seinen Untersuchungen einer Standalloy-Feilung über fünf Jahre nur ein geringes Sinken der Endexpansionswerte; sie liegen nach wie vor nahe beieinander und sind alle noch positiv. Er führt dieses günstige Resultat auf eine "Einplanung einer längeren Nachalterung in die künstliche Alterung" zurück. Bei späterer Prüfung (1961) des 50%igen Silber-Folien-Amalgams und des 67%igen Nadelamalgams macht sich eine Nachalterung deutlich bemerkbar.

Weitere wichtige Faktoren für das Dimensionsverhalten der Amalgame liegen in der Hand des Zahnarztes. Es sind: das Mischungsverhältnis Legierung zu Quecksilber, der Mischvorgang (Druck, Geschwindigkeit und Zeit), die Zeit zwischen Mischen und Stopfen, die Kondensation (Anzahl der Stopfportionen, Stopfzeit, Stopfinstrumente, Stopfdruck) und die Temperatur.

Bei einer Erhöhung des Quecksilberzusatzes zur Feilung ist zwar die Initialkontraktion geringer und die Endexpansion größer (Lane, J. R., 1949, Parula, N., 1950, Weikart, P., 1950, Rebel, H.-H., 1950, Greisel, H.-P., 1950, Ilg, V. K., 1951, Geyer, C. F., 1951, Lacroix, R., 1951 und 1954, Loebich, O., 1952, Haubeil, J., 1953, Laube, M., 1954, Fischer, C.-H. und H. Lehwald, 1954, Hagedorn, F., 1956, Freidank, O., 1956, Mosteller, J. H., 1957, Miller, E. C., 1959); mit einem Zuviel an Quecksilber sind aber schwerwiegende Nachteile verbunden, die ein genaues vorgeschriebenes Mischungsverhältnis ratsam erscheinen lassen.

Bei der Zubereitung des Amalgams spielen Druck, Geschwindigkeit und Zeit eine Rolle für das Dimensionsverhalten. Zu starker Anmischdruck, zu große Umdrehungszahl des Pistills oder zuviel Knetbewegungen mit dem Gummifingerling und zu langes Anrühren haben niedrige Expansion bzw. Kontraktion zur Folge. Auch durch mechanisches Mischen nehmen die Expansionswerte ab (Lane, J. R., 1949, Rebel, H.-H., 1950, Greisel, H.-P., 1950, Taylor, N. O., W. T. Sweeney und D. B. Mahler, 1950, McDonald, R. E. und R. W. Phillips, 1950, Geyer, C. F., 1951, Bonsack, Ch., 1951, Ilg, V. K., 1951, Lacroix, R., 1951 und 1954, Romner, A. F., 1954, Fischer, C.-H. und K. Franke, 1954, Laube, M., 1954, Fischer, C.-H. und H. Lehwald, 1954, Hagedorn, F., 1956, Mosteller, J. H., 1957, Phillips, R. W., 1957).

Ficht, A. und C.-H. Fischer, 1954 stellen fest, daß ein 67%iges Amalgam sowohl negative als auch positive Endexpansion aufweisen kann je nach der Durchführung des Mischvorganges. Günstig ist die Zubereitung im Gummifingerling bei Verkürzung der Anreibezeit und Abpressen von überschüssigem Quecksilber.

Neubohn, H.-W., 1955 untersucht ein 50%iges handelsübliches Silberamalgam (bekanntlich negative Endexpansion) auf sein Dimensionsverhalten bei verschiedener Anmischmethode. Die gefundenen Endwerte nach 24 Stunden liegen zwischen + 0,5 und - 26,0 μ /cm, die Primärkontraktion zwischen - 2,5 und - 33,5 μ /cm. Die besten Ergebnisse werden erzielt nach Anrühren im Mörser mit geringem Pistilldruck, die schlechtesten mit mechanischen Amalgamatoren (stärkste Primärkontraktionen und große negative Expansionswerte). Bei steigendem Druck auf das Pistill oder den Gummimischer nimmt die Kontraktion zu; auch ein Mischen und späteres Nachtritrieren ist nachteilig.

Schulte, G.-H., 1955 mischt eine 50%ige und eine 67%ige Legierung von Hand im Gummifingerling und maschinell unterschiedlich lange. Bei kurzen Mischzeiten ist das Ergebnis ein expandierendes Amalgam, bei langen Mischzeiten ein kontrahierendes.

Eine gewisse Wartezeit zwischen der Zubereitung und der Kondensation des Amalgams ergibt eine gering höhere Expansion (Lane, J. R., 1949, Haubeil, J., 1953, Steidle, K., 1954).

Fischer, C.-H. und H. Lotz, 1954 erhalten nach Liegenlassen des Amalgams vor dem Stopfen sehr unterschiedliche Dimensionswerte.

Durch eine bestimmte "Reifezeit" wird nach Fischer, C.-H., 1956 theoretisch eine etwas höhere Endexpansion erzielt, aber auch eine zeitlich und räumlich größere primäre Kontraktion.

Werner, K.-J., 1956 findet verbesserte Expansionswerte nach einer Reifezeit, kann aber kaum einen Einfluß auf die Dauer der Initialkontraktion beobachten im Gegensatz zu Ilg, V. K., 1953. Neubohn, H.-W., 1955 stellt weder eine Ausschaltung der Primärkontraktion noch günstigere Expansionswerte fest.

Des weiteren spielt der Stopfprozeß eine Rolle für die Dimensionsänderungen des Amalgams. Die Zahl der Stopfportionen soll nicht zu groß (Kontraktion) und nicht zu klein (Expansion) sein (Steidle, K., 1954, Ehrlich, R., 1955), sondern sich der Kavitätengröße anpassen. Eine verlängerte Stopfzeit führt

zur Abnahme der Expansion (Bonsack, Ch., 1951, Geyer, C.F., 1951, Pieloth, P., 1955). Die Größe und Form verschiedener Stopfinstrumente ergeben keine wesentlichen Veränderungen im Dimensionsverhalten (Fischer, C.-H., und L. Mertensmeier, 1957).

Sperber, R., 1954 stellt bei Amalgamen mit positiver Endexpansion mit größer werdender Stopffläche der Instrumente eine geringe Zunahme der Expansion fest.

Die maschinelle Kondensation ergibt immer niedrigere Expansionswerte im Vergleich zur Handstopfmethode, auch stärkere Initialkontraktion (McDonald, R.E. und R.W. Phillips, 1950, Markley, M.R., 1951, Ryge, G., G. Dickson, D.L. Smith und I.C. Schoonover, 1952, Fischer, C.-H. und H. Lehwald, 1954, Sperber, R., 1954, Skinner, Marois und Thibault, 1955 ref. von Eisenlohr, Phillips, R.W., 1957, Heyden, P., 1958).

Der wichtigste Faktor beim Stopfen im Hinblick auf das Dimensionsverhalten ist wohl der Stopfdruck. Er bestimmt weitgehend die freie Menge an Quecksilber. Sehr starker Druck ist mit einer Abnahme der Expansion verbunden (Ilg, V.K., 1951 beobachtet allerdings in geringem Maße eine Zunahme) (Lane, J.R., 1949, Rebel, H.-H., 1950, Greisel, H.-P., 1950, Taylor, N.O., W.T. Sweeney und D.B. Mahler, 1950, Bonsack, Ch., 1951, Lacroix, R., 1951 und 1954, Loebich, O., 1952, Haubeil, J., 1953, Mosteller, J.H., 1957, Perlick, B., 1959).

Bei den Untersuchungen von Fischer, C.-H., 1954 und Fischer, C.-H. und H. Lehwald, 1954 ergibt ein zunehmender Stopfdruck weniger hohe Endexpansionswerte. Gleichzeitig wird festgestellt, daß auch die Dauer der Druckeinwirkung von Bedeutung ist. Ein längerer Stopfdruck zieht ebenfalls geringere Expansion nach sich (vergl. auch Pieloth, P., 1955).

Nicht ganz unwesentlich dürfte die Temperatur sein, bei der die Probekörper im Laboratorium hergestellt und gemessen werden. Die amerikanische Spezifikation sieht eine Versuchstemperatur von 22°C vor, die jedoch nicht den Mundverhältnissen Rechnung trägt (vergl. Lacroix, R., 1951).

Steidle, K., 1954 kann bei Temperaturen in gewissen Grenzen (18° - 20°C) keinen Einfluß auf das Volumenverhalten feststellen. Werner, K.-J., 1956 erhält jedoch bei sehr unterschiedlichen Versuchstemperaturen (20° und 36°C) verschiedene Resultate. 50%ige Amalgame, die bei Raumtemperatur expandierten, kontrahierten bei Mundtemperatur; dabei nimmt die Initialkontraktion stark zu. Bei höherprozentigen Legierungen sind die Unterschiede im Ergebnis nicht so deutlich.

Nach Gloor, E., 1957 wird durch Erhöhung der Temperatur auf 37° die vom Hersteller angegebene Expansion nicht erreicht; ihr Endwert ist geringer, so daß die Primärkontraktion oft nicht ausgeglichen werden kann. Die Füllung hat also nach dem Erhärten ein kleineres Volumen als beim Stopfen, und es entsteht ein Spalt.

Nach Lane, J. R., 1949 nimmt die Expansion zu bei Trituration unter 68°F, nach Haubeil, J., 1953 beim Anrühren unter 20°C (Zimmerwärme). Greissel, H.-P., 1950 gibt eine Expansion bei Verarbeitung des Amalgams unter 18°C an.

Von den angeführten, das Dimensionsverhalten beeinflussenden Faktoren sind wohl die wichtigsten der Quecksilbergehalt und der Stopfdruck (Fischer, C.-H., 1954, Fischer, C.-H. und H. Lehwald, 1954, Riethe, P., 1958). Im Laboratorium läßt sich die Auswirkung jedes einzelnen Faktors auf das Volumen des Amalgams feststellen, in der Praxis haben wir es jedoch immer mit einer Kombination von Einflüssen zu tun, die sich gegenseitig aufheben oder überlagern können (vergl. hierzu Gloor, E., 1957).

Es wird heute allgemein die Ansicht vertreten, daß ein gering expandierendes Amalgam einem sich nicht verändernden oder gar kontrahierenden vorzuziehen sei für Füllungen mit ausreichendem Randschluß (Lane, J. R., 1949, Rebel, H.-H., 1950, Weikart, P., 1950, Geyer, C. F., 1951, Laube, M., 1954, Schoch, P., 1954, Fischer, C.-H., 1954, Lacroix, R., 1954, Fischer, C.-H. und H. Lotz, 1954, Werner, K.-J., 1956, Hagedorn, F., 1956 u. a.).

Aber die im Laboratoriumsversuch gefundenen Expansionswerte bestimmen noch nicht die Brauchbarkeit des Amalgams als Füllungsmaterial; sie sind keineswegs eine Garantie für randdichte Füllungen (Lane, J. R., 1949, Loebich, O., 1951 und 1952, Lacroix, R., 1954, Philipps, R. W., 1957, Mordass, K., 1959, Fischer, C.-H., L. Mertensmeier und K. Mordass, 1960).

Eine geringe Kontraktion im Labor tritt klinisch nicht in Erscheinung (Bonsack, Ch., 1951, Mosteller, J. H., 1957, Fischer, C.-H. und L. Mertensmeier, 1957). McDonald, R. E. und R. W. Phillips, 1950 können selbst bei Füllungen aus stark kontrahierenden Amalgamen keinen Randspalt oder Sekundärkaries feststellen. Ebenso werden gute Füllungsresultate mit extrem hoch expandierenden Amalgamen erzielt (Lacroix, R., 1951, Kleimann, W., 1953).

Eine zu große Expansion bringt allerdings leicht die Gefahr mit sich, daß die Elastizität der Kavitätenwände zu stark beansprucht wird (Riethe, P., 1958) und es zu Schmerzen und Fraktur kommen kann (Lacroix, R., 1951).

Alle bis heute auf dem Markt befindlichen Amalgame unterliegen Volumenänderungen: sie expandieren oder kontrahieren. Trotzdem können bei richtiger Verarbeitung mit allen gute Erfolge erzielt werden.

Verzögerte Expansion

Neben der "normalen" Expansion des Amalgams kann man manchmal eine andere Art der Ausdehnung beobachten. Da sie erst einige Tage nach dem Legen von Amalgamfüllungen in Erscheinung tritt, hat man sie als nachträgliche oder verzögerte Expansion bezeichnet. Die Expansionswerte nehmen dabei kontinuierlich zu und können nach Monaten bis 500 μ /cm betragen (Chaput, A., 1948, Nachlin, J. J., 1954, Phillips, R. W., M. L. Swartz und R. Boozayaangool, 1954, Mosteller, J. H., 1957, Phillips, R. W., 1957).

Klinisch zeigt sich diese übermäßige Expansion in überquellenden Füllungen, Abbrechen dünner Schmelzpartien mit nachträglichem Randspalt und Sekundärkaries, Auftreten von Blasen, Hohlraumbildung innerhalb der Füllung, starken inneren und äußeren Korrosionserscheinungen und Verfärbungen. Durch Druck auf die Pulpa kann es zu pulpitischen Schmerzen kommen (Parula, N., 1950, Geyer, C. F., 1951, Markley, M. R., 1951, Helbig, K., 1951, Kilpatrick, H. C., 1951, Lacroix, R., 1951, Nachlin, J. J., 1954, Romner, A. F., 1954, Phillips, R. W., M. L. Swartz und R. Boozayaangool, 1954, Baume, J., 1955, Hagedorn, F., 1956, Phillips, R. W., 1957, Wolcott, R. B., 1958).

Voraussetzung für das Auftreten dieser Expansionserscheinung ist die Verarbeitung einer zinkhaltigen Legierung in Gegenwart von Feuchtigkeit. Das Zink der Feilung reagiert mit Wasser unter Bildung von Wasserstoff, der durch seinen Gasdruck das Amalgam zur Ausdehnung bringt. Bei Anwendung zinkfreier Legierungen können Mißerfolge dieser Art (Phillips, R. W., M. L. Swartz und R. Boozayaangool, 1954) geben sie mit 16% an) möglicherweise vermieden werden; Wolcott, R. B., 1958 kann keine günstigeren Resultate feststellen. Feilungen ohne Zink zeigen bei Verunreinigung mit Feuchtigkeit zwar keine verzögerte Expansion (Fischer, C.-H. und H. Lotz, 1954, Mosteller, J. H., 1957, Wolcott, R. B., 1958), haben dafür aber andere Nachteile (Nachlin, J. J., 1954, Mosteller, J. H., 1957). Ihre Verarbeitung erfordert wegen größerer Empfindlichkeit (Romner, A. F., 1954) sehr viel Sorgfalt.

Phillips, R. W., M. L. Swartz und R. Boozayaangool, 1954 untersuchen den Einfluß von Feuchtigkeit auf die Festigkeit zinkhaltiger und zinkfreier Legierungen. Sie stellen einen erheblichen Festigkeitsverlust bei den

Zink enthaltenden verunreinigten Prüfkörpern fest, der klinisch wichtig werden könnte im Hinblick auf eine gesteigerte Frakturmöglichkeit schon bei normalem Kaudruck. Die Ergebnisse sollen jedoch keine Bestätigung der zinkfreien Amalgame darstellen; noch andere Faktoren sind von Bedeutung.

Endgültige Aussagen über bessere klinische Erfolge können vorläufig nicht gemacht werden, so daß die meisten Autoren von vornherein den Ausschluß jeglicher Feuchtigkeit während der Amalgamverarbeitung fordern.

Handsekret, Speichel, seröse Flüssigkeit und Blut sind die Quellen der Feuchtigkeit. De Boer, J. G., 1956 erwähnt außerdem die Möglichkeit der Wasserkondensation in der Mundhöhle.

Sehr verbreitet ist immer noch die Angewohnheit, das Amalgam in der bloßen Handfläche zu kneten. Die vor Jahren gültige Meinung, dadurch eine glattere und besser zu verarbeitende Masse zu erhalten und eine genauere Adaptation an die Kavitätenwände zu erreichen, ist längst überholt (Nachlin, J. J., 1954). Abgesehen davon, daß sich das in die Hand eingeriebene Quecksilber unter Umständen gesundheitsschädlich auswirken könnte, ist dieses Vorgehen unhygienisch, weil Schweiß und abgestoßene Hautepithelien in das Füllmaterial gelangen (Kilpatrick, H. C., 1951, Flaschentreher, M. H., 1957).

Wichtig ist also beim Anrühren des Amalgams, daß die Mischgefäße absolut sauber und trocken sind und ein Nachkneten nur mit Gummihandschuhen oder im Gummikneter erfolgt. Bonsack, Ch., 1951 allerdings hält das Mischen in einer trockenen Hand für ungefährlich und empfiehlt nur bei feuchten Händen den Gebrauch eines Stückes Kofferdam.

Während der Kondensation ist das Amalgam ebenfalls vor Feuchtigkeit zu schützen durch möglichst weitgehende Trockenhaltung des Operationsfeldes, am besten durch Anlegen von Kofferdam. Das Amalgam soll mit trockenen Instrumenten in eine absolut trockene Kavität gestopft werden. Nach Fertigstellung der Füllung hat der Speichel keinen Einfluß mehr auf das Dimensionsverhalten.

Fließen

Bei den Amalgamen kommt es außer zu Dimensionsänderungen im Sinne von Expansion und Kontraktion zu der Erscheinung des Fließens. Man versteht darunter eine Deformation des erhärtenden und erhärteten Amalgams unter konstanter Belastung.

Die Flow-Teste sollen ein Maß für die Widerstandsfähigkeit von Amalgamfüllungen beim Kauakt sein (Riethe, P., 1958). Sie werden auch heute noch trotz mancher Kritik nach den Vorschriften des National Bureau of Standards durchgeführt. Danach dürfen die zylindrischen Prüfkörper von 8 mm Höhe und 4 mm Durchmesser, die einem konstanten Druck von 250 kg/cm^2 unterworfen werden, nicht mehr als 4% Fluß zeigen; d.h. sie sollen innerhalb von 24 Stunden nicht mehr als 4% Kürzung in der Länge der Probe aufweisen. 3 Stunden nach dem Stopfen wird der freie Probekörper dieser Belastung bei Temperaturen zwischen 20° und 25°C ausgesetzt.

Viele Autoren bezweifeln die klinische Bedeutung der Flow-Prüfung. Lane, J. R., 1949 fordert zwar ein begrenztes Fließen unter 4% gerade ausreichend zum Glätten der Füllungsänder, kann aber andererseits bei Füllungen mit Flow-Werten von 6,5% klinisch keine auffällige Zerstörung feststellen. Auch Mosteller, J. H., 1957 hat keinerlei klinische Anhaltspunkte, wenn er die 4%-Grenze beim Fluß als Sicherheitsfaktor für genügende Kohäsion, Widerstandsfähigkeit und Härte des Amalgams ansieht.

Nach Docking, A. R., 1958 kommt es im Munde gar nicht zu einer konstanten, sondern stets wechselnden Belastung der Füllung, so daß die Flow-Teste nicht der Wirklichkeit entsprechen.

Loebich, O., 1954 hält die Flow-Prüfung in der heutigen Form für unzweckmäßig und mißt ihr keine Bedeutung für die klinische Bewertung des Amalgams bei. Die Höhenabnahme der Prüfkörper setze sich aus drei Stauungsteilbeträgen zusammen: "dem Wegpressen der Reste von flüssigem Quecksilber, dem plastischen Fließen des harten Amalgams und dem Verdichten desselben unter Abnahme des spezifischen Volumens." Bei den Flow-Messungen werde also außer dem eigentlichen Fließen des Amalgams auch die beim Stopfen hineingebrachte Undichtigkeit erfaßt.

Bonsack, Ch., 1951 hält auch die Prüfung der Fließerscheinung für überflüssig, weil sie im Munde nicht vorkomme. Fischer, C.-H., L. Mertensmeier und K. Mordass, 1960 können bei Amalgamfüllungen im Munde keine Randveränderungen durch Fließen feststellen; sie beobachten lediglich lokalisierte Reibe- und Gleitflächen. Altherr, A., 1956 allerdings glaubt an eine negative Veränderung des Randschlusses einer Füllung durch Flow; Hervorquellen der Füllung am Rand.

Kleimann, W., 1953 definiert den Fluß als "die Reaktion eines Amalgams auf einen Dauerwiderstand während der Erhärtung". Demnach komme es sowohl bei Druck von außen auf eine Amalgamfüllung als auch bei Expan-

sion des Füllmaterials an den Kavitätenwänden, wenn diese nicht gesprengt werden, zum Fließen. Fischer, C.-H. und W. Kleimann, 1954 schlagen für den Ausdruck Fließen Stauchung vor. Sie wollen darunter alle Vorgänge verstanden wissen, die das erhärtende Amalgam bei äußerem Druck aktiv und passiv verformen (Flow = Gestautwerden + Sichstauchen). So gehen in der Kavität Flow und Expansion ineinander über, und eine getrennte Messung, wie sie die amerikanische Spezifikation vorsieht, ist praktisch nicht möglich.

Auch Lacroix, R., 1951 beobachtet im Munde Fließen und Expansion gleichzeitig und nicht wie im Laboratoriumsversuch getrennt.

Der Flow des Amalgams, der eng mit dem Abbindeprozeß verbunden ist, hängt ähnlich wie das Dimensionsverhalten von verschiedenen Faktoren ab.

Nach Lane, J.R., 1949 beginnt ein Einfluß schon bei der Zusammensetzung der Feilung. Ein höherer Silber- und Kupfergehalt hat niedrigere Fließwerte zur Folge, während viel Zinn in der Legierung den Flow erhöht. Taylor, N.O., W.T. Sweeney und D.B. Mahler, 1950 sehen in feineren Teilchen aufgrund schnellerer Amalgamation ein gesteigertes Fließen. Eine große Rolle spielt das richtige Dosierungsverhältnis von Quecksilber zu Legierung. Ein Zuviel an Quecksilber in der Amalgammischung sowie ein ungenügendes Auspressen während der Kondensation erhöht den Rest-Quecksilber-Gehalt der fertigen Füllung und damit den Flow (Phillips, R. W. und M. L. Swartz, 1949, Parula, N., 1950, Hagedorn, F., 1956, Wolcott, R. B., 1958). Untertrituration ist nach Taylor, N.O., W.T. Sweeney und D.B. Mahler, 1950 und Phillips, R. W., 1957 ebenfalls verantwortlich zu machen für hohe Fließwerte, auch ein geringer Stopfdruck oder längere Verarbeitungszeit.

Lacroix, R., 1951 beobachtet eine geringere Höhenabnahme der Amalgamzylinder unter konstanter Belastung, wenn das Anreiben mit Quecksilber intensiver wird, das Verhältnis Quecksilber zu Legierung abnimmt, der Stopfdruck zu- und die Temperatur abnimmt.

Nach Altherr, A., 1956 hängt der Flow ab von der Qualität der Feilung, der Verarbeitung (Mischen, Stopfen) des Amalgams, d.h. dem Quecksilber-Gehalt und der Dichtigkeit der Masse, dem Erhärtungsprozeß und der Kaltverformung des erhärteten Materials. Er empfiehlt für eine dauerhafte Füllung ein hochprozentiges Amalgam, das durch sein schnelleres Abbinden nicht so leicht vor der endgültigen Erhärtung durch den Kauakt deformiert wird, Abpressen möglichst vielen überschüssigen Quecksilbers vor und während des Kondensierens und hohen Stopfdruck.

Durch mechanische Kondensation des Amalgams kann nach Skinner, Ma-rois und Thibault, 1955, ref. von Eisenlohr, die Fließgrenze herabgesetzt werden.

Albers, F., 1955 untersucht 10 handelsübliche Amalgame, die in ihrer chemischen Zusammensetzung den NBS-Forderungen entsprechen, auf ihren Flow. Bei 6 von ihnen liegen die Fließwerte unter 4%, bei 4 unter 5%. In den ersten Stunden nach der Belastung sind die Werte am höchsten (steiler Kurvenverlauf). Sie werden langsam mit zunehmender Erhärtung geringer und allmählich konstant kurz nach Beendigung der Dimensionsänderungen (flacher Kurvenverlauf). Das Fließen dauert noch nach 24 Stunden an; man erfaßt also mit der Belastungsmessung nach der Spezifikation Nr.1 nur einen Teil der Fließgesamtkurve. Bei erhöhtem Quecksilber-Zusatz wird eine größere Fließneigung gefunden, ebenso bei längerer Lagerung der Amalgame.

Unter Änderung der gültigen Untersuchungsbedingungen prüft Nöcker, E., 1957 das Fließen bei Amalgamen mit niedrigem Silbergehalt, wie sie in Deutschland immer noch üblich sind. Es müssen längere Wartezeiten zwischen Fertigstellung der Prüfkörper und Beginn der Belastung eingeschaltet werden, weil die 50%igen Amalgame langsamer erhärten und deshalb erst später mit 250 kg/cm² belastungsfähig sind. Die Fließwerte liegen über denen der hochprozentigen Amalgame. Eine Voramalgamation scheint bessere Resultate zu liefern.

Riethe, P., 1958 findet bei prä-amalgamierten hochprozentigen Amalgamen gegenüber nicht prä-amalgamierten eine schnellere Erhärtungsgeschwindigkeit und bei 7 von 9 untersuchten Produkten Fließwerte innerhalb der 4%-Grenze oder nur gering höher.

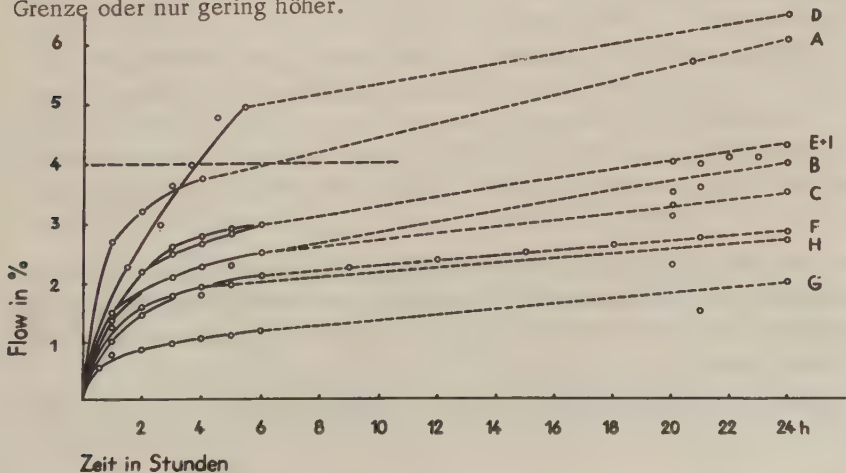


Abb. Flow-Versuche bei verschiedenen voramalgamierten Legierungen (Riethe, P., 1958, Abb.8, S.468)

Härte

Nach Rebel, H.-H., 1950 soll die Härte des Amalgams etwa der des Schmelzes entsprechen. Sie darf nicht wesentlich größer sein, weil sonst die Zahnhartsubstanzen eher abgenutzt würden als die Amalgamfüllung.

Loebich, O., 1931, zit. nach Riethe, P., 1958, verlangt für die Silber-Zinn-Amalgame eine Mindest-Brinellhärte von 7 kg/mm^2 , damit ein ausreichender Widerstand gegen die Belastung beim Kauen gegeben ist. Diese geforderte Härte soll möglichst früh erreicht werden, um dem Patienten keine allzu lange Wartezeit zwischen dem Legen der Füllung und der nächsten Mahlzeit auferlegen zu müssen.

Die Härte sowohl der niedrig- als auch der hochprozentigen Amalgame reicht völlig aus für die an sie gestellten Anforderungen im Munde. Es besteht jedoch ein Unterschied in der Erhärtungsgeschwindigkeit und der Endhärte. Amalgame mit höherem Silbergehalt erhärten schneller und erreichen eine größere Endhärte.

Die Erhärtung beginnt mit der Amalgamation, d. h. mit dem Diffundieren des Quecksilbers in die Legierungsteilchen der Silber-Zinn-Feilung (Loebich, O., 1940, zit. nach Riethe, P., 1958) und ist beendet, wenn ein gewisser Gleichgewichtszustand der verschiedenen Phasen (kein freies Quecksilber mehr vorhanden) eingetreten ist. Die Erhärtungsgeschwindigkeit, die Härtezunahme in der Zeiteinheit, hängt von der Ausgangslegierung (chemische Zusammensetzung der Feilung, Form, Größe, Vorbehandlung und Alter der Legierungsteilchen, Prä-Amalgamierung) und deren Verarbeitung ab. In ähnlicher Abhängigkeit steht auch die Endhärte selbst (vergl. hierzu Pichler, H., 1948, Corsánego, L. J. J., 1949, Lane, J. R., 1949, Rebel, H.-H., 1950, Starklof, E., 1950, Greisel, H.-P., 1950, Markley, M. R., 1951, Helbig, K., 1951 und 1958, Loebich, O., 1952, Bruhn, K., 1953, Ilg, V. K., 1953, Haubeil, J., 1953 und 1957, Laube, M., 1954, Lacroix, R., 1954, Fischer, C.-H. und W. Kleimann, 1954, Albers, F., 1955, Altherr, A., 1956, Flaschentreher, M. H., 1957, Phillips, R. W., 1957, Riethe, P., 1958, Wolcott, R. B., 1958, Miller, E. C., 1959).

Für den Praktiker von größerer Wichtigkeit als die Endhärte sind die frühen Härtewerte des Amalgams. Sie dienen als Maß für die frühestmögliche Belastungsfähigkeit einer Amalgamfüllung, ohne daß es zur Deformation oder gar Fraktur kommt.

Riethe, P., 1958 untersucht in diesem Zusammenhang Amalgamprüfkörper

voramalgamierter Legierungen mit verschiedenem Silbergehalt auf ihre Brinellhärten in Abhängigkeit von der Zeit. Er stellt fest, daß das 50%ige Amalgam am langsamsten abbindet und erst nach 3 1/2 Stunden die Mindesthärte erreicht, während mit einer Ausnahme alle geprüften hochprozentigen Amalgame schon nach 1 Stunde und weniger als 1 Stunde der Belastung von 7 kg/mm² standhalten. Muß man also bei einem Patienten mit sehr früher Kaubeanspruchung rechnen, so "wird man die kurzfristig erhärtenden, höherprozentigen (voramalgamierten) Silberamalgame den langsam erhärtenden niedrigprozentigen vorziehen."

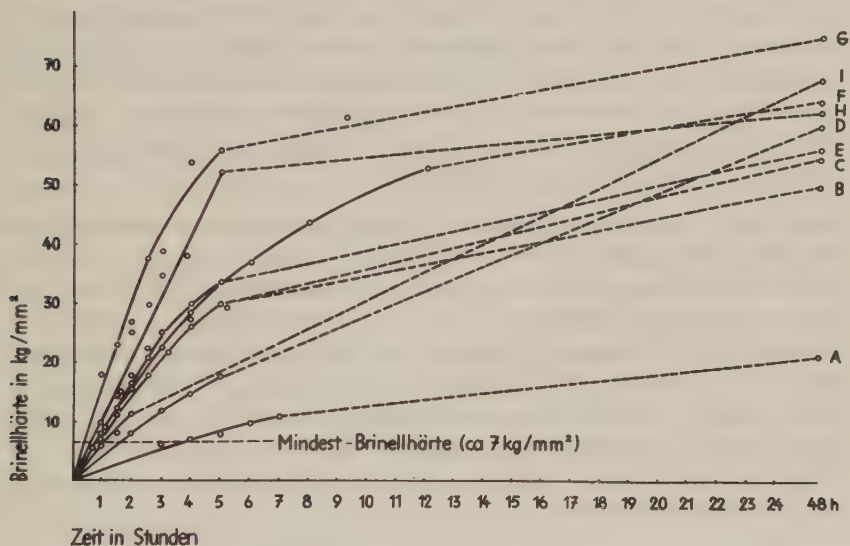


Abb. Härte-Messung bei verschiedenen voramalgamierten Legierungen (Riethe, P., 1958, Abb. 9, S. 469)

Auch Ilg, V. K., 1953, Altherr, A., 1956, Flaschentreher, M. H., 1957 und Miller, E. C., 1959 halten die Verarbeitung der schnellhärtenden silberreichen Amalgame für günstiger.

Obst, S., 1953 prüft niedrig- und hochprozentige Amalgame auf ihre Ritzhärte und findet allgemein eine Zunahme der Hartewerte mit steigendem Silbergehalt. Jedoch zeigen 50%ige Legierungen bei mittlerem Mischungsverhältnis, Legierung: Hg = 5 : 4, fast die gleichen Werte wie die 67%igen; nur bei quecksilberärmster Verarbeitung sind die silberreichen Feilungen härter. Günstig wirkt sich das Anreiben des Amalgams im Gummifingerling aus und die

Kondensation mit großem Druck und großflächigen Stopfern. Eine abschließende Politur erhöht die Ritzhärtewerte um 10 - 20%.

Heyden, P., 1958 vergleicht die Härte manuell und maschinell mit Bergendal-Vibrator gestopfter Amalgamproben eines 50%igen Feilungs- und Folienamalgams und eines 67%igen Nadelamalgams. Er stellt zunächst deutliche Härteunterschiede an Ober- und Unterseite der Prüfkörper sowie an nebeneinanderliegenden Punkten der gleichen Fläche fest und gibt als Grund einen unvermeidlich verschiedenen Hg-Gehalt in den einzelnen Teilen der Füllung an. Die Brinellhärten sind an der Unterseite der Prüfkörper (= Kavitätenboden) durch Quecksilberarmut höher als an der Oberseite (= Füllungsoberfläche). Die mechanisch gestopften Proben zeigen schnellere Erhärtung und größere Endhärte auf Kosten eines gröberen Gefüges und größerer Porosität. Diese Nachteile werden durch die Vorteile der kürzeren Erhärtungszeit und höheren Härtegrade nicht aufgewogen, so daß nach Heyden die übliche manuelle Stopftechnik, die ausreichende Härte ergibt, vorzuziehen ist.

Mc Hugh, W. D., 1955 untersucht ebenfalls den Einfluß von Handstopftechnik und Vibratortechnik (Vibratoren nach Bergendal und Gustafson) auf die Härte von Amalgamproben. Er erhält die besten Ergebnisse nach der Kondensation mit dem Gustafson-Vibrator bei kleinen Stopfportionen. Obwohl von Hand gestopfte Füllungen oft genügen, hält McHugh doch zur Ausschaltung jeden Risikos, einmal schlechte Resultate zu bekommen, die Verwendung von Vibratoren für ratsam. Außerdem sei eine bessere Adaptation des Amalgams an die Kavitätenwände gewährleistet.

Festigkeit

Außer der Härte gehören Druck-, Bruch-, Kanten-, Spalt-, Zug- und Scherfestigkeit zu den mechanischen Eigenschaften des Amalgams.

Von einer Amalgamfüllung muß man eine angemessene frühe Druckfestigkeit verlangen können. Nach der "Australian Standard Specification for Dental Amalgam Alloy" darf sie nicht weniger als 6 kg/mm^2 60 Minuten nach Beginn der Kondensation betragen (nach Riethe, P. und U. Schade, 1961).

Die Druckfestigkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab. Nach den Untersuchungen von Riethe, P. und U. Schade, 1961 spielen neben dem Silbergehalt der verarbeiteten Legierung auch die Prä-Amalgamierung und das Anmischverhältnis eine Rolle. Hochprozentige Amalgame zeigen höhere Maximalfestigkeitswerte als niedrigprozentige; aktivierte hochprozentige Amalgame erreichen jedoch eher die maximalen Werte ihrer Druckfestigkeit gegen-

über den "normalen" höherprozentigen. Die Zunahme der Druckfestigkeit in der Zeiteinheit erfolgt bei ihnen also schneller, bedingt durch eine rascher verlaufende Diffusion des Quecksilbers in die Legierungspartikelchen.

Philipps, R. W., 1949 untersucht ebenfalls die Druckfestigkeit des Amalgams in Abhängigkeit von der Zeit. Er stellt nach 8 Stunden bei den schnellhärtenden Legierungen im allgemeinen nahezu 85% der Maximaldruckfestigkeit fest. Die silberreichen Amalgame zeigen etwas früher höhere Festigkeitswerte als die silberarmen. Nach 6 Monaten ist jedoch keine große Differenz mehr in den Endwerten vorhanden. Die Druckfestigkeit kann wohl mit den Erhärtungsvorgängen in Verbindung gebracht werden. Noch nach 24 Stunden steigen die Festigkeitswerte langsam, aber stetig an mit dem Fortdauern der chemischen Reaktionen und werden wahrscheinlich erst bei einem im Amalgam erreichten Gleichgewichtszustand zur Ruhe kommen.

Ein wesentlicher Faktor für die Druckfestigkeit ist auch der Rest-Quecksilbergehalt der Amalgamfüllung, der seinerseits mit dem ursprünglichen Dosierungsverhältnis und dem Kondensationsdruck zusammenhängt. Nach den Untersuchungen von Swartz, M. L. und R. W. Phillips, 1956 ist ein Quecksilbergehalt zwischen 45 und 53% nicht kritisch für die Festigkeit; erst ab 55% tritt ein erheblicher Festigkeitsverlust ein. Bei Druck wären jene Teile der Füllung mit einem hohen Quecksilbergehalt und damit verbundener geringer Festigkeit ungenügend vor einer Fraktur geschützt (vergl. auch Phillips, R. W. und M. L. Swartz, 1949, Parula, N., 1950, Geyer, C. F., 1951, Swartz, M. L. und R. W. Phillips, 1954, Crawford, W. H. und J. H. Larson, 1954, Wolcott, R. B., 1958). Gerade in den ersten Stunden ist eine Füllung am meisten gefährdet. Viele Legierungen haben nach einer Stunde erst 10 - 15% ihrer maximalen Festigkeit erreicht (Phillips, R. W., 1957).

Ryge, G., R. F. Telford und C. W. Fairhurst, 1957 geben zur Erlangung höchster Festigkeitswerte an, ein Amalgam im optimalen Verhältnis zu dosieren und nach gründlichem Anreiben mit möglichst großem Druck zu kondensieren zur frühestmöglichen Zeit nach der Trituration.

Ryge, G., G. Dickson, D. L. Smith und I. C. Schoonover, 1952 prüfen den Einfluß verschiedener manueller und maschineller Kondensationsmethoden auf die Druckfestigkeit. Nach mechanischer Kondensierung des Amalgams ergeben sich höhere Anfangs- und höhere End-Druckfestigkeitswerte. Dies wird durch die Versuche von Skinner, Marois und Thibault, 1955, ref. von Eisenlohr, bestätigt. Fraglich ist allerdings die klinische Bedeutung der Ergebnisse. Ebenso beobachten Phillips, R. W., 1949

und Wolcott, R. B., 1958 an handgestopften Proben niedrigere Festigkeitswerte, während Hollenback, G. M., 1958 zwischen Handkondensierung mit flachen Stopfern und Hammerkondensation keinen Unterschied in der Druckfestigkeit feststellen kann.

Nach Phillips, R. W., M. L. Swartz und R. Boozayaangool, 1954 u. a. wirkt sich eine Verunreinigung mit Feuchtigkeit bei zinkhaltigen Legierungen negativ auf die Druckfestigkeit einer Amalgamfüllung aus.

Ähnlich wie die Druckfestigkeit steht auch die Bruchfestigkeit in enger Beziehung zur Ausgangslegierung und deren Verarbeitung. Taylor, N. O., W. T. Sweeney, D. B. Mahler und E. J. Dinger, 1949 untersuchen handelsübliche Feilungen unter verschiedenen Bedingungen auf die Änderung der Bruchfestigkeit. Sie kommen zu dem Ergebnis, daß das Amalgam sehr niedrige frühe Festigkeitswerte aufweist. Niemals sollte eine Füllung belastet werden, die weniger als eine Stunde alt ist, und jedes Kauen auf einer noch nicht 6 Stunden alten Füllung könne Schaden anrichten. Mechanisches Vorgehen beim Mischen und Stopfen bringt keine wesentliche Verbesserung der Werte. Taylor, N. O., W. T. Sweeney und D. B. Mahler, 1950 und Lacroix, R., 1954 sehen in intensiver Trituration und kräftigem Stopfdruck eine Erhöhung der Bruchfestigkeit.

Allgemein wird den Amalgamen, gerade den hochprozentigen, eine geringe Kanten-, Spalt- und Zugfestigkeit nachgesagt. Dieser Nachteil ist bei der Kavitätenpräparation zu berücksichtigen; es sollte mindestens eine Schichtdicke des Amalgams von 2 - 3 mm vorhanden sein (Chaput, A., 1948, Markley, M. R., 1951, Drum, W., 1953, Baume, J., 1955, Miller, E. C., 1959).

Außerdem ist nach Kantorowicz, G. F., 1957 u. a. nicht in jedem Falle eine genau anatomisch gestaltete Füllung vorteilhaft. Durch das Modellieren tiefer Fissuren wird die Füllung geschwächt, und es kann zu Frakturen kommen. Die Amalgamfüllungen dürfen aber auch nicht zu hoch sein, weil sich sonst die auf sie einwirkenden verschiedenen Kräfte auf diesen exponierten Punkt konzentrieren würden.

Eine Füllung, vor allem die approximale, unterliegt im Munde einer Schubbeanspruchung. Hiltbrunner, F., 1956 untersucht die dynamische Schubfestigkeit verschiedener Amalgame. Er findet bei steigendem Silbergehalt, genügend langer Anrührzeit mit ausreichender Umdrehungszahl des Pistills und ausreichendem Mischdruck günstige Werte. Elektrisches Anmischen ergibt keine Vorteile. Besonders zu beachten ist der Stopfdruck, der hoch sein soll, damit es weder zu einem Quecksilberüberschuß noch zu Poren im Innern der Amalgamfüllung kommt.

Alterung

Es ist bekannt, daß Amalgame die Eigenschaft des "Alterns" zeigen, d.h. frische Feilung läßt sich schneller mit Quecksilber amalgamieren als eine ältere. Diese spontane und unregelmäßige Diffusion des Quecksilbers in die Legierungsteilchen und die damit verbundenen sehr hohen Expansionswerte sind nicht erwünscht.

Durch Liegenlassen oder Erwärmen der frischen Feilung gehen die Erscheinungen zurück (Black, C. V. u. a., zit. nach Riethe, P., 1960). Deshalb wird heute allgemein vom Amalgamhersteller eine künstliche Alterung der Legierungen bei etwa 100 - 120°C eine halbe Stunde oder länger in einer nicht oxydierenden Atmosphäre (Smith, E. A., 1949) vorgenommen, um damit eine gewisse Konstanz der Eigenschaften über längere Zeit zu erzielen. Es wird dabei jedoch nie der Zustand der völligen Alterung herbeigeführt, weil dieser mit verändertem Quecksilberzusatz, schwierigem Anmischen, sehr langsamem Abbinden und geringer Härte des Amalgams verbunden ist (Loebich, O., 1952, Haubeil, J., 1953, Lacroix, R., 1954, Lorenz, D., 1957).

Das unvollständig künstlich gealterte Produkt altert nun durch Lagerung langsam, aber stetig nach, um seinen "Endalterungszustand" zu erreichen (Rebel, H.-H., 1950, Starklof, E., 1950, Fischer, C.-H. und H. Lotz, 1954, Werner, K.-J., 1956). Will man das Risiko schlechter Füllungsresultate aufgrund völliger Überalterung der Legierungen vermeiden, so sollte man nach Rebel, H.-H., 1950, Skinner und Lane, zit. nach Greisel, H.-P., 1950 und Starklof, E., 1950 kein Amalgam mehr verwenden, das älter ist als ein Jahr. Helbig, K., 1951 hält eine Amalgamierung überalterten Amalgams für kaum möglich, Haubeil, J., 1953 bestreitet überhaupt die Brauchbarkeit. Altes Amalgam ergibt eine schmierige und langsam bis gar nicht härtende Paste.

Voraussetzung für die Verwendung nur kurz gelagerter Legierungen ist die genaue Angabe des Herstellungsdatums und eventuell des Grenztermins der Brauchbarkeit durch den Fabrikanten (Starklof, E., 1950, Geyer, C. F., 1951, Werner, K.-J., 1956, Riethe, P., 1960).

Ilg, V. K., 1951 untersucht ein Amalgam verschiedenen Herstellungsalters und findet erhebliche Schwankungen der Endexpansionswerte. Er fordert deshalb vom Hersteller, seine "Amalgame auf Gleichmäßigkeit der Herstellung", vor allem "auf eine Konstanz der ursprünglichen Endexpansion untersuchen zu lassen und diese Werte einer Herstellungsgruppe beizugeben."

Freidank, O., 1956 kann feststellen, daß frische Legierungen direkt vom Hersteller bezogen höhere Expansionswerte ergeben als die gleichen Firmenprodukte, die er von Zahnärzten erhalten oder im Dental-Depot gekauft hat. Nach mehrmonatiger Lagerung zeigen Kontrollmessungen geringere Expansion. Er verlangt vom Fabrikanten gleichmäßige Produktion, genaue Deklaration des Materials und genaue Arbeits- und Verarbeitungsvorschrift.

Fischer, C.-H. und K. Franke, 1954 bestätigen den Einfluß der Nachalterung auf das Dimensionsverhalten im Sinne niedrigerer Expansion. Wildisen, W., 1952, Kleimann, W., 1953 und Steidle, K., 1954 erwähnen u.a. auch das Alter einer Legierung als Faktor beim Volumenverhalten.

Werner, K.-J., 1956 beobachtet bei zwei ungealterten Amalgamen einer 50%igen und einer 67%igen Legierung eine sofortige starke Expansion ohne vorherige Initialkontraktion. Nach 1 1/2 Jahren sind die Expansionswerte durch Nachalterung erheblich gesunken. Dabei zeigt sich ein schnelleres Altern des niedrigerprozentigen Amalgams, so daß ein höherprozentiges schon aus diesem Grunde vorzuziehen wäre. Beim Vergleich von zwei 67%igen künstlich gealterten Legierungen weist das ältere einen negativen Endexpansionswert auf. Die Nachalterung hat bei jeder Legierung schlechtere Expansionswerte zur Folge, der Quecksilberbedarf sinkt, während beim Stopfen mehr Quecksilber abgepreßt wird; die Abbindezeit ist heraufgesetzt.

Albers, F., 1955 kann an länger gelagerten Amalgamen höhere Fließwerte nachweisen. Nach Fischer, C.-H. und E. Nöcker, 1959 ist durch Alterung die Erhärtung verlangsamt und darauf vielleicht das verzögerte Konstantwerden der Flow-Werte zurückzuführen.

Im Gegensatz zu den Beobachtungen der meisten Autoren stellt Rieth, P., 1960 keine großen Unterschiede bei Amalgamproben einer voramalgamierten 68%igen Standalloy-Feilung aus verschiedenen Produktionsjahren fest. Die Expansionswerte sind alle positiv und liegen nahe beieinander, eine stärkere Änderung des Fließens ist nicht wahrscheinlich (genaue Meßwerte konnten nicht angegeben werden), Erhärtungsgeschwindigkeit und Endhärte unterscheiden sich kaum von neuem Amalgam. Bei allen Amalgamen scheint die Quecksilberaufnahme konstant zu sein, und es kann nur etwa die gleiche Menge Hg beim Kondensieren mit der Hand ausgedrückt werden. Der Abbindeprozeß ist nicht verlängert; die metallographische Untersuchung klinisch gelegter Füllungen zeigt keine typischen Unterschiede. Es läßt sich also nach 5 Jahren keine Überalterung nachweisen.

Bei späteren Untersuchungen des 50%igen Silberfolienamalgams und des 67%-

igen Nadelamalgams kann Riethel, P., 1961 jedoch deutlich Alterserscheinungen (längere Knetbarkeit, späterer Erhärtungsbeginn, herabgesetzte Erhärtungsgeschwindigkeit und Endhärte) feststellen, bei dem niedrigprozentigen Amalgam ein wenig stärker ausgeprägt. Er zieht aus den gewonnenen Ergebnissen den Schluß, daß die niedrigprozentigen und nicht voramalgamierten hochprozentigen Amalgame heute für die Verarbeitung in der Praxis nicht mehr zu empfehlen sind.

II. DAS AMALGAM ALS FÜLLUNGSMATERIAL

Dem Zahnarzt stehen zur Verarbeitung niedrigprozentige (45 - 55% Ag) und hochprozentige (65 - 75% Ag) Silberamalgame zur Verfügung. Amalgame mit geringem Silbergehalt lassen sich leichter anreiben und kneten, haben jedoch eine große Initialkontraktion, eine kleine Expansion und geringere mechanische Widerstandsfähigkeit bei größerer Kanten- und Spaltfestigkeit; sie erhärten langsam; ihre Farbe ist heller.

Silberreiche Amalgame sind schwerer anzureiben, haben eine kleine anfängliche Kontraktion, eine starke Expansion und größere mechanische Widerstandsfähigkeit, verbunden mit einer gewissen Sprödigkeit; sie erhärten schneller und erreichen eine größere Endhärte.

Um das Anmischen der hochprozentigen Amalgame zu erleichtern, wurden voramalgamierte Legierungen auf den Markt gebracht.

In Deutschland und anderen europäischen Ländern werden neben den 67%igen und 70%igen Amalgamen immer noch die 50%igen verarbeitet, während in den USA nur die höherprozentigen Anwendung finden. Die amerikanische Spezifikation Nr.1 schreibt folgende chemische Zusammensetzung für Dental-Amalgame vor: Ag 65% min., Sn 25% min., Cu 6% max. und Zn 2% max.

Beide Amalgamsorten, ob niedrig- oder hochprozentig, ergeben bei Beachtung der individuellen Verarbeitungsvorschriften nach Greisel, H.-P., 1950 gute Resultate. Die Frage jedoch, welche Amalgame sich im Munde besser bewähren, ist noch nicht ausreichend geklärt. Laboratoriumsuntersuchungen über Dimensionsverhalten, Fließen, Härte und andere Eigenschaften sind nicht allein maßgebend für die klinische Brauchbarkeit des Füllungsmaterials (Rebel, H.-H., 1950, Loebich, O., 1951 und 1952, Phillips, R. W., 1957, Fischer, G.-H., L. Mertensmeier und K. Mordass, 1960 u.a.).

Wichtiger als der Silbergehalt ist nach vorherrschender Meinung die Art der Verarbeitung des verwendeten Amalgams.

Vorbedingung und Grundlage für einwandfreie Füllungsergebnisse ist zunächst eine exakte Kavitätenpräparation, die auch heute noch nach den Black'schen Grundregeln (Black, G. V., 1914) mit geringen Abweichungen vorgenommen wird.

Wolcott, R. B., 1958 führt die meisten Mißerfolge auf Fehler bei diesem Arbeitsgang zurück; Phillips, R. W., 1957 und Kantorowicz, G. F., 1957 geben 56% an. Cohnert, A., 1954 weist bei 10 000 untersuchten Amalgamfüllungen 44,1% schlechte Präparationstechnik nach.

Auch der Wahl eines guten, in seinen Eigenschaften bekannten Füllmaterials sollte genügende Beachtung geschenkt werden. Markley, M. R., 1951 erwähnt, daß eine einwandfreie Füllung niemals mit einer minderwertigen Legierung gelegt werden kann. Er hält die Verwendung eines Amalgams, das der Spezifikation entspricht, für eine einfache Bürgschaft. Ähnlich äußern sich Lane, J. R., 1949, Taylor, N. O., W. T. Sweeney und D. B. Mahler, 1950, Romner, A. F., 1954 u. a.

Der Zahnarzt muß sich in diesem Punkte ganz auf den Amalgamhersteller verlassen können, in dessen Hand die Qualität und Kontrolle der in den Handel gebrachten Legierungen gelegt ist. Der Fabrikant ist verantwortlich für die Zusammensetzung der Feilung, Größe und Form der Feilungspartikel, Vorbehandlung und Alterungszustand und sollte für die weitere Verarbeitung seines Produktes eine genaue Gebrauchsanweisung mitliefern.

Zubereitung

Die erste Forderung stellt die exakte mengenmäßige Dosierung von Feilung und Quecksilber dar. Der Amalgamhersteller gibt für jede Legierung das optimale Mischungsverhältnis, das von der chemischen Zusammensetzung abhängt, an. Hochprozentige Legierungen verlangen mehr Quecksilber bei der Zubereitung; ihre Anfangsmischung besteht gewöhnlich aus 8 Teilen Quecksilber zu 5 Teilen Feilung (Corsánego, L. J. J., 1949, Geyer, C. F., 1951, Kilpatrick, H. C., 1951). Nach Phillips, R. W. und M. L. Swartz, 1949 liegt der anfängliche Hg-Anteil bei etwa 60%. Bonsack, Ch., 1951 gibt für 65-70%iges Amalgam das Verhältnis 5 Teile Legierung zu 5,5 - 5,7 Teilen Quecksilber als gut verarbeitbar an.

Im Laufe der weiteren Verarbeitung des Amalgams sollte das Verhältnis auf

5 Teile Quecksilber zu 5 Teilen Feilung bis auf 4 Teile Quecksilber zu 5 Teilen Feilung reduziert werden. Diese letzteren Proportionen haben im allgemeinen die niedrigprozentigen Amalgame zu Anfang.

Zur Einhaltung der Dosierungsvorschrift stehen verschiedene Dosiergeräte zur Verfügung. Am einfachsten erfolgt das Dosieren nach Gewicht mit Hilfe von Spezialwaagen. Eine andere und häufiger angewandte Methode ist das Abmessen nach Volumen mit Amalgamdosierungsapparaten. Rebel, H.H., 1950 hält letzteres Vorgehen für recht ungenau, "weil das Raummaß keineswegs dem Gewicht entsprechend nach Feilichtform und Art der Schichtung abschätzbar ist".

Als dritte Dosiermethode könnte man vielleicht die Tablettenamalgame (z.B. Agestan) erwähnen, zu denen man aus einer Dosierflasche eine genau abgemessene Quecksilbermenge gibt.

Ryge, G., C.W.Fairhurst und R.E.Oberbreckling, 1958 untersuchen 25 handelsübliche Dosiergeräte auf Genauigkeit der Verteilung von Legierung und Quecksilber und stellen erhebliche Unterschiede fest. Die gewichtsmäßige Austeilung erfolgt nach ihrer Meinung weniger präzise als die volumetrische. Die vom Fabrikanten vorgenommene Einstellung sei oft recht ungenau; unbedingt erforderlich sei die richtige Anwendung der Geräte nach Anweisungen. Das genaueste Mischungsverhältnis bekommen sie, wenn vordosierte Feilung zusammen mit einem guten Quecksilber-Spender verwendet wird.

Haubeil, J., 1957 erhält die erforderliche Legierungsmenge für verschiedenen große Füllungen mit einem kleinen Kunststofflöffelchen.

Eine ungenaue Dosierung wirkt sich in jedem Falle schädlich aus. Zuviel Quecksilber in der Mischung erzeugt zu starke Expansion. Es kommt zur Erhöhung des Rest-Hg-Gehaltes der fertigen Füllung und damit zur Abnahme der allgemeinen Festigkeitswerte und mechanischen und chemischen Widerstandsfähigkeit (Porosität, Korrosion, Verfärbung). Der Flow steigt an. - Zu wenig Quecksilber ergibt durch ungenügende Amalgamierung der Legierungsteilchen ein körniges Amalgam. Wenig widerstandsfähige poröse Füllungen mit schlechtem Randschluß, die der Korrosion und Verfärbung unterliegen, sind das Resultat. Außerdem ist eine erhebliche Kontraktion zu beobachten (Lane, J.R., 1949, Phillips, R.W. und M.L.Swartz, 1949, Rebel, H.-H., 1950, Weiskart, P., 1950, Parula, N., 1950, Markley, M.R., 1951, Ilg, V.K., 1951, Helbig, K., 1951, Haubeil, J., 1953, Lacroix, R., 1954, Hagedorn, F., 1956, Werner, K.-J., 1956, Mosteller, J.H., 1957, Flaschentreher, M.H., 1957, Ryge, G., R.F.Telford und C.W.Fairhurst, 1957, Wolcott, R.B., 1958, Miller, E.C., 1959).

Die meisten Autoren verlangen aus den oben angeführten Gründen die genaue Dosierung von Quecksilber und Legierung nach den Anweisungen des Fabrikanten. Erwähnt sei noch, daß ein geringer Quecksilberüberschuß allgemein als weniger schädlich angesehen wird als ein Quecksilbermangel.

Bruhn, K., 1953 fordert dagegen den Quecksilberzusatz zur Legierung so gering wie möglich; er bevorzugt eine sehr trockene Amalgamreibung. Auch Bonsack, Ch., 1951 und Helbig, K., 1953 arbeiten lieber mit einem leicht bröckeligen Amalgam, aus dem kein Quecksilber mehr ausgepreßt werden kann. Haubeil, J., 1957 allerdings hält eine richtige Verarbeitung von quecksilberarmem Amalgam für nicht möglich; Form und Dichtung seien nicht einwandfrei. So spielt also die verschiedene Arbeitsweise der Zahnärzte eine gewisse Rolle.

Nach dem Dosierungsvorgang beginnt das Mischen und Anreiben von Feilung und Quecksilber, deren Ziel die optimale Plastizität des Amalgams ist. Dies kann auf verschiedene Weise erfolgen: von Hand mit Mörser und Pistill oder Gummifingerling oder mechanisch mit elektrischem Amalgamator.

Am weitesten verbreitet ist heute noch das Anrühren des Amalgams im Mörser aus Glas, Porzellan oder einem anderen Material mit einem Pistill desselben Materials. Die Anmischgefäße müssen peinlich sauber und trocken sein. Zurückgebliebene harte Amalgamreste machen die neue Mischung inhomogen und verderben sie (Loebich, O., 1952, Wolcott, R. B., 1958).

Zur leichteren und schnelleren Amalgamierung halten Rebel, H.-H., 1950 und Helbig, K., 1957 ein Anwärmen von Mörser und Pistill auf etwa 40°C für günstig.

Die Schwierigkeit des Anreibens hängt u. a. vom Silbergehalt der Feilung ab. Niedrigprozentige Legierungen lassen sich nach Weikart, P., 1950 wegen ihres niedrigeren Schmelzpunktes besser amalgamieren. Aber auch Alter, Prä-Amalgamierung, Größe und Form der Feilungspartikel sind ausschlaggebend. Eine Hitzevorbehandlung von Amalgamen hat nach Strader, K. H., 1949 einen größeren Spielraum in der Mischtechnik zur Folge.

Die Legierung kann vorliegen in Spänen, Splintern, Nadeln, Folien oder Pulverform. Je größer die Oberfläche der Teilchen, desto besser und schneller erfolgt die Benetzung mit Quecksilber. Es werden heute feinkörnige Legierungen in gewissen Grenzen mit hohem Silbergehalt empfohlen.

Druck, Geschwindigkeit (Anzahl der Pistillumdrehungen pro Zeiteinheit) und Zeit sind beim Zubereiten des Amalgams zu beachten.

Über den anzuwendenden Druck gibt es verschiedene Ansichten. Parula, N., 1945, Ilg, V.K., 1951, Neubohn, H.-W., 1955 und Hollenback, G.M., 1958 erwähnen einen geringen Pistilldruck; auch Bonsack, Ch., 1951, arbeitet ohne übertriebenen Druck mit 120 - 150 Umdrehungen in der Minute. Corsánego, L.J.J., 1949 beginnt das Anreiben mit leichtem Pistilldruck und 80 Umdrehungen, fährt dann aber mit größtmöglichem Druck bei 100 Umdrehungen fort. Pichler, H., 1948, Helbig, K., 1957 und Phillips, R.W., 1957 verlangen allgemein ein gründliches kräftiges Zerreiben. Chaput, A., 1948 fordert einen konstanten Druck von 2 kg bei 200 Pistillumdrehungen in der Minute. Lacroix, R., 1954 spricht von einer weitgehenden Konstanz von Anmischdruck, -geschwindigkeit und -zeit.

Eine Normung des Druckes beim Mischen von Hand ist kaum möglich. Er sollte jedoch nicht zu groß sein, weil damit die Gefahr der unkontrollierbaren Zerkleinerung der Legierungsteilchen und eine Kontraktion verbunden wäre. Auch bei zu hoher Anmischgeschwindigkeit wird die Kontraktion zunehmen.

Die Mischzeit hängt mit dem Silbergehalt der Legierung und der anzurührenden Menge zusammen. 50%ige Amalgame erfordern nach Detto, G. und H. Sponholz, 1956 1-2 Minuten, höherprozentige etwa 3-6 Minuten. Rebel, H.-H., 1950 sieht für die niedrigprozentigen Amalgame die obere Grenze bei $3/4$ - 1 Minute, für die hochsilberhaltigen bei 3 Minuten. Die amerikanische Spezifikation schreibt eine Amalgamierungszeit von 3 Minuten vor. Derselben Ansicht sind Corsánego, L.J.J., 1949, Chaput, A., 1948, Lane, J.R., 1949, Parula, N., 1950 u.a. Lacroix, R., 1954 hält 90 Sekunden für ausreichend, Bonsack, Ch., 1951 sogar 60 -75 Sekunden. Hau-beil, J., 1953 gibt allgemein für kleine Füllungen 2 Minuten und für große Füllungen 3 Minuten an.

Die vom Amalgamhersteller vorgeschriebene Mischzeit sollte beachtet und mit einer Sanduhr, Stoppuhr oder einem anderen Zeitmesser kontrolliert werden.

Ist die Anreibedauer zu kurz, erhält man keine homogene plastische Mischung. Eine Untertrituration hat starke Expansion, erhöhten Flow, geringe Festigkeitswerte und Neigung zu Korrosion, Belag und Verfärbung zur Folge. Bei Übertrituration kommt es zur Kontraktion. Die Erhärtungsgeschwindigkeit nimmt zu und daraus resultiert eine verkürzte Verarbeitungszeit. Da die optimale Plastizität abnimmt, ist auch die Haftfestigkeit geringer. Festigkeit und Endhärte werden allerdings größer (vergl. hierzu Chaput, A., 1948, Lane, J.R.,

1949, Phillips, R. W., 1949 und 1957, Greisel, H.-P., 1950, McDonald, R. E. und R. W. Phillips, 1950, Taylor, N. O., W. T. Sweeney und D. B. Mahler, 1950, Kilpatrick, H. C., 1951, Haubeil, J., 1953, Laube, M., 1954, Lacroix, R., 1954, Romner, A. F., 1954, Adolph, W., 1957, Ryge, G., R. F. Telford und C. W. Fairhurst, 1957, Mosteller, J. H., 1957, Hollenback, G. M., 1958).

Wichtig ist in jedem Falle das Erkennen der richtigen Konsistenz des angerührten Amalgams. Nach den NBS-Forderungen soll diese weder körnig noch sandig sein; beim Zerreiben des Amalgams auf der Hand oder auf Papier darf keine starke Schwärzung auftreten.

Rebel, H.-H., 1950 hält das Amalgam für hinreichend plastisch, "wenn es bei starkem Fingerdruck kaum oder nur sehr wenig flüssiges Hg abgibt, noch mattglänzend, aber weder quecksilbernaß noch trocken, stumpf und grau aussieht, nicht schlüpfrig und schmierig, sondern konsistent, aber gut plastisch sich anfühlt und gerade noch die Hautlinien zeigt, bei Pressen das bekannte Knirschen des feuchten Schneeballs ergibt, sich zu einer langen dünnen Rolle ohne zu brechen formen läßt, auf der Glasplatte nur unter Fingerdruck deformierbar ist".

Ist das Amalgam im Mörser verrieben worden, erfolgt ein kurzes Nachkneten mit Gummihandschuhen, im Gummifingerling, in einem Stück Kofferdarm oder einem Lederfleck. Dabei ist es meist üblich, den eventuell noch vorhandenen geringen Quecksilberüberschuß abzupressen. Bonsack, Ch., 1951 sieht dieses nachträgliche Ausdrücken als Nachteil an. Man eliminiert nicht nur reines Quecksilber, sondern mit Quecksilber "verschmutzte" Metalle aus der Legierung, so daß die ursprüngliche Zusammensetzung verändert wird und sich die zu erwartenden Eigenschaften nicht zeigen.

Es ist keineswegs erlaubt, nach Beginn des Mischens noch Legierung oder Quecksilber hinzuzufügen. Damit wird nach Fischer, C.-H. und H. Lotz, 1954 das vorgeschriebene Mischungsverhältnis geändert. Durch den bereits eingetzten Kristallisationsprozeß ist dann kein homogener Aufbau des Amalgams mehr möglich, die Erhärtung ist unvollständig und die mechanische und chemische Widerstandsfähigkeit herabgesetzt (Flaschentreher, M. H., 1957). Ein schon teilweise abgebundenes Amalgam darf also nicht mehr plastisch gemacht werden; eine neue Mischung ist erforderlich.

Ilg, V. K., 1951, Ficht, A. und C.-H. Fischer, 1954, Hagedorn, F., 1956, Lorenz, D., 1957 halten die alleinige Verwendung des Gummifingerlings für günstig, vor allem im Hinblick auf das Dimensionsverhalten. Es erfolge ein schonendes Anreiben unter Fingerdruck; eine Teilchenzerkleine-

rung werde verhindert. Auch Obst, S., 1953 findet bei seinen Ritzhärteuntersuchungen bessere Werte, wenn er das Amalgam im Gummifingerling zubereitet hat.

Heute wird immer mehr die Forderung nach möglichst weitgehender Standardisierung der Amalgamzubereitung erhoben. In gewisser Weise ist dies geschehen mit der mechanischen Amalgamierung, die in den USA vorwiegend verbreitet ist. Es gibt viele Typen von Amalgamatoren, die entweder mit der Bohrmaschine oder einem Motor betrieben werden.

Nach Schulte, G.-H., 1955 ist die Meinung über die Verwendung mechanischer Schüttelgeräte sehr geteilt. Übereinstimmend äußern die Autoren, daß die maschinelle Zubereitung des Amalgams praktisch sei und eine gewisse Normierung gegenüber dem Anreiben von Hand gewähre, daß die Mischzeit wesentlich verkürzt würde und alle Amalgame unter gleichen Bedingungen zubereitet werden könnten und daß das Endprodukt ein homogenes Amalgam sei (vergl. auch Parula, N., 1945, Taylor, N. O., W. T. Sweeney und D. B. Mahler, 1950, Markley, M. R., 1951, Geyer, C. F., 1951, Kilpatrick, H. C., 1951, Lacroix, R., 1951 und 1954, Helbig, K., 1957, Miller, E. C., 1959).

Schulte, G.-H., 1955 führt 5 Punkte an, die beim mechanischen Mischen beachtet werden müssen: 1) Wahl des Gerätes und Arbeitsweise, 2) Wahl des Amalgams, 3) genaue Triturationszeit für das jeweilige Amalgam, 4) Menge des Amalgams und damit unterschiedliche Mischzeit, 5) Hg-Dosierung. Er untersucht ein 50%iges und 67%iges Amalgam, mechanisch und von Hand zubereitet, auf das Dimensionsverhalten und kommt zunächst zu dem Schluß, daß ein maschinell angemischtes Amalgam keineswegs besser sei als ein manuell angerührtes. Bei ungenauer Kenntnis des Amalgamatoren können viel mehr Fehlerquellen auftreten. So fordert er für die Schüttelgeräte selbst eine konstante Umdrehungsgeschwindigkeit von mindestens 2000/Minute, exakte Zeiteinhaltung, festen Verschluß der Mischkapsel, einfache Handhabung und Mischkapseln von gleichem Volumeninhalt.

Ein Einfluß auf das Dimensionsverhalten ist nur durch verschiedene Triturationszeiten, die von der anzumischenden Menge abhängen, möglich. Kurze Mischzeiten ergeben ein expandierendes, lange Mischzeiten ein kontrahierendes Amalgam. Mechanische Zubereitung eines Amalgams für mechanische Kondensation hält Schulte für ungünstig.

Bruhn, K., 1953 und Lorenz, D., 1957 lehnen das maschinelle Mischen als ungeeignet ab, wenn das Amalgam sehr trocken weiter verarbeitet werden soll.

Ilg, V.K., 1951 beobachtet eine Abnahme der Expansion in der Reihenfolge Gummifingerling, Mörser, elektrischer Mischapparat.

Auch McDonald, R.E. und R.W. Phillips, 1950 stellen bei hochprozentigen Legierungen ein Geringerwerden der Expansion bis zur Kontraktion fest, wenn das Amalgam mechanisch zubereitet wurde. Sie halten diese Erscheinung jedoch klinisch für unbedeutend. Die Festigkeit der Füllung erfährt allerdings eine Zunahme nach maschinellem Anmischen.

Neubohn, H.-W., 1955 vergleicht die drei verschiedenen Anmischmethoden (Mörser, Gummifingerling, Amalgamator) bei einem 50%igen Amalgam im Hinblick auf das Dimensionsverhalten und findet weniger hohe Kontraktionswerte beim Anrühren im Mörser mit geringem Pistilldruck, die größten bei mechanischem Anmischen.

Overdiek, H.F., 1957 hebt die Bequemlichkeit, Zeitersparnis und den geringen Kraftaufwand bei der Maschinenmischung hervor. Er vergleicht bei 67%igen aktivierten und nicht aktivierten Legierungen, nach Firmenvorschrift dosiert und von Hand und mechanisch angerührt, die Belastungsfähigkeit. Bei den schwer anzumischenden Amalgamsorten ist die manuelle Zubereitung in bezug auf die Belastungswerte günstiger; es erfolgt wahrscheinlich eine intensivere Durchmischung unter der Kontrolle des Auges. Bei den prä-amalgamierten Legierungen sind die Ergebnisse nach Mischen im Schüttelapparat besser. Werden beide Amalgamsorten maschinell zubereitet, liegen die Belastungswerte der aktivierten Amalgame höher.

Adolph, W., 1957 stellt bei einem 65%igen Amalgam die manuelle und maschinelle Zubereitung gegenüber. Er beobachtet bei den mechanisch angerührten Proben eine bessere Durchmischung. Ein 20 - 30 Sekunden lang maschinell gemischtes Amalgam, je nach Schüttelgeschwindigkeit des Amalgamators ist die Zeit sogar kürzer, zeigt optimale Plastizität, wohingegen das manuell angerührte Amalgam erst nach 120 Sekunden genügend amalgamiert ist.

Wird ein Amalgam jedoch länger gerüttelt als zur Erreichung seiner optimalen Plastizität notwendig, läßt diese schnell nach; das Produkt erhärtet bereits. Bei 50%igen Amalgamen ist die Schüttelzeit heraufgesetzt; sie liegt bei mindestens 60 Sekunden.

Um stets die gleiche Qualität eines Amalgams zu erhalten, verlangt Adolph eine genaue Dosierung nach Herstellervorschrift und eine Zubereitung in einem in seiner Schüttelkraft konstant bleibenden Amalgamator bei immer gleicher Mischzeit.

Ein großer Unterschied, so betonen Phillips, R. W., 1957 u. a., zwischen sorgfältiger Handtechnik und Maschinenteknik sei im Ergebnis der Mischung und der späteren Füllung nicht zu erkennen.

Kondensation

Für die Güte der endgültigen Amalgamfüllung ist der Stopfprozeß einer der wichtigsten Arbeitsgänge. Es ist üblich, das frisch zubereitete Amalgam sofort in die Kavität zu bringen und dort zu kondensieren.

Wolcott, R. B., 1958 spricht nur diesem Amalgam wünschenswerte Verarbeitungseigenschaften zu; nur dann sei das Entfernen eines Quecksilberüberschusses während der Kondensation von Erfolg. Nach seiner Meinung darf das Amalgam nicht älter sein als 4 Minuten.

Gerade bei der Verwendung hochprozentiger Legierungen, deren Plastizitätsdauer durch schnelle Erhärtung verkürzt ist, ist dieses Problem akut. Ein zu großer Zeitraum zwischen Amalgamzubereitung und -verarbeitung wirkt sich ungünstig aus; der Abbindeprozeß wird unterbrochen, es ist kein homogener Füllungsaufbau möglich.

Phillips, R. W., 1957 stopft Amalgame nach Wartezeiten von 1 bis 6 Minuten und stellt eine Abnahme der Festigkeit und eine Zunahme des Rest-Quecksilbergehaltes fest.

Helbig, K., 1953 und 1958 mißt nicht so sehr dem Zeitpunkt des Stopfens als der Stopftechnik Bedeutung bei. Für ihn ist wichtiger, wie ein Amalgam "gestopft, kondensiert und nachkondensiert wird". Er nimmt Stellung zu den Untersuchungen von Ilg über Plastizität, Stopfbarkeit und Adaptierbarkeit.

Ilg, V. K., 1953 und 1956 versucht durch Einschalten einer Wartezeit zwischen Zubereitung und Kondensation das Dimensionsverhalten der Amalgame zu verbessern. Er will einen Teil der Initialkontraktion abfangen, indem er das Amalgam erst im Zustand der "letzten Plastizität" stopft. Im Zustand der "letzten Adaptierfähigkeit" kondensiert er noch einmal nach. Die Expansion eines hochprozentigen Amalgams soll auf diese Weise möglichst voll zur Auswirkung kommen.

Fischer, C.-H. und H. Lotz, 1954 haben für Wartezeit den Ausdruck Reifezeit geprägt. Nach Fischer, C.-H., 1956 müßte theoretisch ein Teil der primären Kontraktion nach einer bestimmten Reifezeit wegfallen und eine gering höhere Endexpansion entstehen. Es sei jedoch gleichzeitig die Ini-

tialkontraktion zeitlich und räumlich größer. Wesentlich bessere Füllungen würden allein dadurch wohl nicht erzielt.

Steidle, K., 1954 kann mit vorgelagertem Amalgam die Primärkontraktion ausschalten und besseren Randschluß erhalten, während es Neubohn, H.-W., 1955 bei seinen Untersuchungen nicht gelingt, durch Liegenlassen des Amalgams vor dem Stopfen die anfängliche Kontraktion zu umgehen.

Werner, K.-J., 1956 erhält bessere Expansionswerte nach einer gewissen Reifezeit bei verschiedenen Amalgamen. Durch das "Reifen" wird vom Amalgam mehr Quecksilber gebunden, so daß es zu größerer Ausdehnung kommt; die Dauer der Initialkontraktion wird im Gegensatz zu Ilgs Meinung kaum beeinflußt.

Auch Nölle, A., zit.nach Weikart, R., 1955 stopft im Rahmen seiner Versuchsreihe Probekörper nach Ilgs Vorschlag im Zustand der "letzten Plastizität" und untersucht deren Haftfestigkeit. Die Werte liegen niedriger als bei den "normal" gestopften Proben; außerdem ist die Oberfläche weniger glatt. Nölle, A. führt die Abnahme der Haftfestigkeit darauf zurück, daß der Stopfdruck nicht mehr genügend groß ist, um das bereits erhärtete Amalgam ausreichend zu verarbeiten.

Unter Kondensieren versteht Sperber, R., 1954 vereinfacht ein "Ineinanderverkeilen der Legierungssplitter". Ziel der Kondensation ist es, die mit Quecksilber benetzten Feilungsteilchen untereinander in innigen Kontakt zu bringen und in alle Teile der Kavität. Dabei soll möglichst viel Quecksilber entfernt werden, um eine dichte Füllung zu erhalten.

Es besteht kein Unterschied für die Stopftechnik bei okklusalen und approximalen Kavitäten; nur ist bei letzteren unbedingt eine gut sitzende Matrize erforderlich, die exakt angelegt sein muß und Okklusions- und Artikulationsbewegungen erlaubt.

Die Kondensation kann manuell oder maschinell vorgenommen werden. Heute ist immer noch die Handstopfmethode am weitesten verbreitet.

Das zubereitete Amalgam wird mit den verschiedensten Instrumenten (Amalgamträger, Pinzette, Amalgampistole, Amalgamfüllinstrument) in die saubere und trockene Kavität gebracht. Dieses soll in kleinen abgeteilten Portionen erfolgen. Pichler, H., 1948 hält allerdings eine möglichst große erste Portion, die die Kavität schon fast ausfüllt, für günstig.

Ehrlich, R., 1955 untersucht den Kontraktionsspalt von Amalgamfüllungen

nach der Kondensation mit einer verschiedenen Anzahl von Stopfportionen. Bei mittelgroßen Füllungen ist der Spalt nach 4 Portionen am geringsten. Zu kleine Portionen (6), aber auch zu große (1 oder 2) und die Methode des "Überbauens" nach Witzel ergeben erhebliche Spaltbreiten, so daß die Gefahr der Sekundärkaries besteht.

Steidle, K., 1954 ist ebenfalls der Meinung, daß sich die Zahl der Stopfportionen nach der Kavitätengröße richten soll und weder zu groß noch zu klein zu wählen ist.

Über den anzuwendenden Stopfdruck sind sich fast alle Autoren einig. Das Amalgam soll in der Kavität unter möglichst hohem Druck kondensiert werden. Markley, M. R., 1951 meint dazu: "It is likely that if the operator's arm does not ache after condensing a large filling, the filling is not well condensed."

Es ist natürlich schwierig, den von Hand ausgeübten Druck zu normen. Der mittlere Stopfdruck wird mit etwa 650 g/mm^2 angegeben. Jeder Zahnarzt sollte sich bemühen, gleichmäßig intensiv und kraftvoll zu stopfen.

Der Druck ist wesentlich für die Eigenschaften der Füllung. Ein höherer Stopfdruck verhindert in gewissen Grenzen eine zu große Porosität im Innern der Amalgamfüllung (Schoch, P., 1954 und Schoch, P. und O. Loebich, 1955 stellen an Hand von Untersuchungen des spezifischen Volumens bei Amalgamprüfkörpern 6 - 7% Hohlräume fest. Diese Rest-Porosität läßt sich auch durch starken Stopfdruck nie ganz vermeiden.) und einen zu hohen Rest-Quecksilbergehalt. Daraus ergibt sich eine angemessene mechanische und chemische Widerstandsfähigkeit. Der Flow erfährt eine Abnahme, aber auch die Expansion, was sich nach Mosteller, J. H., 1957 jedoch nicht klinisch auswirkt. (Lane, J. R., 1949, McDonald, R. E. und R. W. Phillips, 1950, Taylor, N. O., W. T. Sweeney und D. B. Mahler, 1950, Greisel, H.-P., 1950, Lacroix, R., 1951 und 1954, Wildisen, W., 1952, Haubeil, J., 1953, Drum, W., 1953, Obst, S., 1953, Crawford, W. H. und J. H. Larson, 1954, McHugh, W. D., 1955, Detto, G. und H. Sponholz, 1956, Hiltbrunner, F., 1956, Swartz, M. L. und R. W. Phillips, 1956, Ryge, G., R. F. Telford und C. W. Fairhurst, 1957, Phillips, R. W., 1957, Riethe, P., 1958).

Fischer, C.-H., 1954 und Fischer, C.-H. und H. Lehwald, 1954 beobachten bei ihren Untersuchungen im Laboratorium einen Einfluß des Stopfdruckes auf das Dimensionsverhalten von Amalgamen. Mit zunehmendem Druck sinkt der Gehalt an freiem Quecksilber im Amalgam, und die Expansionswerte werden geringer. Neben der Stärke des Stopfdruckes ist auch sei-

ne Dauer zu beachten. Auf die unteren Teile einer Amalgamfüllung wirkt der Druck länger als auf die oberen, eine Abnahme der Expansion ist die Folge. Längere Stopfdruckdauer entspricht also im Ergebnis stärkerem Stopfdruck.

Pieloth, P., 1955 führt die Versuche von Lehwald weiter. Er untersucht bei gleichem Stopfdruck die Auswirkung der Stopfdruckdauer auf das Dimensionsverhalten. Bei längerer Stopfdauer nimmt die Endexpansion stetig ab bis zum Erreichen einer bestimmten Grenze, die durch den Erhärtungsprozeß direkt und die Legierungsform indirekt festgelegt wird.

Perlick, B., 1959 variiert bei seinen Messungen der Spaltbreiten den Stopfdruck und die Stopftechnik (Anzahl der Stopfportionen, der Kompressionen und die Stopfdauer). Er erhält bessere Ergebnisse, wenn das Amalgam in kleinen Portionen unter geringem Druck als unter hohem Druck flüchtig gestopft wird. Daraus schließt er, daß weniger der Kondensationsdruck als das sorgfältige Einbringen des Amalgams wesentlich für eine randdichte Füllung ist. Sorgfalt und Zeit können nicht durch Kraft ersetzt werden.

Loebich, O., 1952 hält einen zu großen Stopfdruck für ungünstig. Der Quecksilbergehalt wird dadurch stark herabgesetzt und der Randschluß durch zu trockenes, schlecht adaptierfähiges Amalgam und Kontraktion fragwürdig.

Wie lange man ein Amalgam kondensieren kann, hängt zunächst von der verwendeten Legierung ab; erhärtet sie schnell, normal oder langsam. Rebel, H.-H., 1950: "Daß man möglichst rasch zu stopfen hat, ist klar. Aber dies heißt beileibe nicht schludrig!"

Markley, M. R., 1951, Romner, A. F., 1954, Baume, J., 1955, Eames, W. B., 1959 geben 3 Minuten als Stopfzeit an, Greisel, H.-P., 1950 3 - 3 1/2 Minuten, Wolcott, R. B., 1958 3 - 4 Minuten.

Der Stopfvorgang soll beendet sein, wenn die Kristallisation des Amalgams beginnt. Danach ist eine neue Mischung erforderlich, um nicht ein einwandfreies Verarbeiten des Amalgams in Frage zu stellen.

Nach Rebel, H.-H., 1950 muß das niedrigprozentige Amalgam in den nächsten 15 Minuten, das hochprozentige in 5 - 10 Minuten verarbeitet sein.

Die amerikanische Spezifikation fordert eine Modellierfähigkeit der Amalgame bis zu 15 Minuten nach der Trituration.

Die Stopfinstrumente, die bei der Amalgamkondensation Verwendung finden, werden von den Autoren verschieden beurteilt. Die meisten fordern Größe und Form entsprechend der zu füllenden Kavität oder des zu füllenden Kavitäten-

teils. Zu kleine Stopfer würden sich nach Romner, A.F., 1954, Wolcott, R.B., 1958 und Hollenback, G.M., 1958 durch die weiche Amalgammasse drücken, sie verschieben oder Löcher hinterlassen, aber nicht kondensieren.

Parula, N., 1950 und Eames, W.B., 1959 beginnen den Stopfvorgang mit kleinen Instrumenten und beenden ihn mit den größten;

Bruhn, K., 1953 verfährt umgekehrt.

Pichler, H., 1948, Rebel, H.-H., 1950 und Haubeil, J., 1953 und 1957 bevorzugen Stopfer mit angerauhter Oberfläche;

Chaput, A., 1948, Parula, N., 1950, Greisel, H.-P., 1950, Helbig, K., 1954, Baume, J., 1955, Lorenz, D., 1957 halten glatte Stopfinstrumente für günstiger. Nach Romner, A.F., 1954 bleibt das Amalgam an geriffelten Instrumenten haften und erlaubt keine vollkommene Kondensation.

Die Kugelform wird abgelehnt von Rebel, H.-H., 1950, Baume, J., 1955 und Flaschentreher, M.H., 1957.

Rebel, H.-H., 1950 und von Verbowsky, M., 1957 erzielen mit zylinderförmigen Stopfinstrumenten den besten Randschluß.

Sperber, R., 1954 untersucht die Abhängigkeit des Dimensionsverhaltens von der Art des Stopfinstrumentes. Wesentliche Veränderungen nach der Kondensation mit verschiedenen Instrumenten kann er nicht entdecken (vergl. auch Fischer, C.-H. und L. Mertensmeier, 1957). Es ist eine Tendenz zur Erhöhung der Kontraktionswerte mit kleiner werdendem Querschnitt der Stopffläche des Instrumentes vorhanden. Bei kleineren Stopfern ist wohl der Druck auf die Flächeneinheit größer, aber es besteht die Gefahr, daß bereits gestopftes Amalgam verschoben wird; die Kondensation ist nicht so intensiv. Mit dem Kugelstopfer wird kein senkrechter Druck ausgeübt, außerdem ist er geringer als bei planen Stopfern. Man erzeugt halbkugelförmige Löcher im Amalgam und drückt die plastische Masse zur Seite. Es zeigt sich kaum überschüssiges Quecksilber.

Die heute am häufigsten verwendeten hochprozentigen Legierungen benötigen bei der Amalgamzubereitung einen leichten Quecksilberüberschuß. Wann und wie soll dieses Zuviel an Quecksilber entfernt werden, um eine Füllung mit einem Minimum an Rest-Hg zu erhalten?

Nach Greisel, H.-P., 1950, Markley, M.R., 1951, Romner, A.F., 1954 und Eames, W.B., 1959 sollte das Quecksilber auf keinen Fall sofort aus der ganzen Amalgammasse ausgepreßt werden. Es komme dadurch zur beschleunigten Kristallisation und nachfolgender schwieriger Kondensation eines bröckeligen Amalgams. Nur bei mäßiger Füllungsgröße sei diese Ma-

nipulation unter Umständen erlaubt (Kilpatrick, H. C., 1951). Jede einzelne kleine Portion wird erst kurz vor dem Stopfen in einem dazu geeigneten Tuch, einem Stück Kofferdam oder Sämischleder ausgedrückt. Wieviel man dabei abpreßt, hängt von der einzuschlagenden Stopftechnik ab.

Nach der einen Methode beginnt man die Kondensation mit einer feuchten Anfangsportion, der zunehmend trockenere Amalgamportionen folgen. Man glaubt dabei an eine Absorption des überschüssigen Quecksilbers durch das immer trockener werdende nachgestopfte Füllmaterial. Anhänger dieser Stopfart sind Parula, N., 1945 und 1950, Chaput, A., 1948, Corsánego, L. J. J., 1949, Hollenback, G. M., 1958 u. a.

Die andere Methode empfiehlt während des ganzen Stopfprozesses relativ trockene Einzelportionen. Dabei bleibt der Quecksilbergehalt im Laufe des Füllens in etwa der gleiche und damit die physikalischen Eigenschaften konstant. Man will auf diese Weise homogenere Füllungen bekommen (Strader, K. H., 1949, Markley, M. R., 1951, Miller, E. C., 1959).

Bei beiden Stopftechniken wird zusätzlich während der Kondensation das überschüssige Quecksilber aus der Kavität eliminiert.

Die meisten Autoren führen die beschriebenen Stopfmethoden nicht in jeder Einzelheit so exakt durch. Im allgemeinen geht die Kondensation folgendermaßen vor sich: Das zubereitete Amalgam teilt man in kleine Portionen. Jede einzelne Portion wird vor Einbringen in die Kavität so weit ausgedrückt, daß sie weder zu feucht noch zu trocken ist. Das Amalgam soll einerseits dem Stopfinstrument bei der Kondensation genügend Widerstand entgegensetzen können, andererseits noch genug Quecksilber enthalten als Bindemittel für die Feilungsteilchen.

Die erste Amalgamportion wird in der Kavität kräftig kondensiert und anrotiert, indem man von der Mitte des Kavitätenbodens aus zu den Wänden hin arbeitet. Vor Einbringen der nächsten Portion wird das sich an der Oberfläche zeigende Quecksilber sorgfältig eliminiert. Mit der zweiten und den folgenden Amalgamportionen verfährt man ebenso. So erfolgt ein Aufbau der Füllung in Schichten. Besondere Sorgfalt ist auf den obersten Teil der Amalgamfüllung zu verwenden; die Oberfläche soll möglichst quecksilberarm sein für einen späteren guten Randschluß. Die Kavität wird etwas überbaut, um nach Abtragen des Stopfüberschusses genügend gut kondensiertes Amalgam auf der Füllungsoberseite zu haben. Es erfolgt bei hochprozentigen Amalgamen nach einigen Minuten, bei niedrigprozentigen nach einer etwas längeren Pause das

Modellieren und Konturieren der Füllung. Die möglichst scharfen Instrumente sollen dabei vom Zahn zur Füllung hin geführt werden, nicht umgekehrt, weil damit leicht ein Transport von noch vorhandenem Quecksilber gegen den Füllungsrand verbunden wäre. Die Amalgamfüllung erhält eine abgeschwächte anatomische Form; die Fissuren werden schwach angedeutet. Man läßt den Patienten Okklusions- und Artikulationsbewegungen ausführen. Ein letztes Glätten und Verdichten der Füllungsoberfläche, besonders an den Rändern, kann noch durch kräftiges An- und Nachreiben mit großflächigen glatten abgerundeten Stopfern erreicht werden.

Nach Loebich, O., 1951 und 1952 hängt die Güte des Randschlusses vorwiegend von der richtigen Stopftechnik ab. Diese liefere Füllungen, deren Quecksilbergehalt an der Oberfläche 1 - 2% niedriger ist als im Füllungskörper, insbesondere in den pulpennahen Teilen. Die anzuwendende Stopfmethode ist das Verfahren des Überbauens und Auspressens nach Witzel (vergl. auch Helbig, K., 1953, 1954 und 1957, Freytag, A., 1956 u.a.).

Zur Herstellung quecksilberarmer Füllungen bzw. Füllungsoberflächen empfehlen Bonsack, Ch., 1951, Bruhn, K., 1953, Helbig, K., 1953 und 1954, Romner, A.F., 1954 und Eames, W.B., 1959 von vornherein die Verarbeitung so trockener Amalgamreibungen, daß während der Kondensation kaum oder kein Quecksilber mehr auftritt. Nach ihrer Meinung läßt sich ein Quecksilberüberschuß nur schwer und ungenau aus der Kavität entfernen. Zu berücksichtigen dabei aber ist, daß das Stopfen erschwert wird durch den erforderlichen sehr hohen Druck (Steidle, K., 1954), der im Munde in Pulpennähe kaum verwirklicht werden kann.

Die in der Füllung zurückgebliebene Quecksilbermenge beeinflusst zu einem großen Teil ihre Eigenschaften (Phillips, R. W. und M. L. Swartz, 1949, Steidle, K., 1954, Swartz, M. L. und R. W. Phillips, 1954, Essl, R., 1956, Wilson, R. T., R. W. Phillips und R. D. Norman, 1957, Phillips, R. W., 1957, Wolcott, R. B., 1958, Miller, E. C., 1959 u.a.).

Ein Quecksilbergehalt bis 50% ist nach Phillips, R. W., 1957 nicht alarmierend und sollte möglichst eingehalten werden (vergl. Crawford, W. H. und J. H. Larson, 1954). Ganz homogen ist eine Füllung gewöhnlich nie (Loebich, O., 1951 und 1952, Wilson, R. T., R. W. Phillips und R. D. Norman, 1957, Heyden, P., 1958). Die Unterschiede im Quecksilbergehalt liegen bei 6% in derselben Amalgamfüllung (Swartz, M. L. und R. W. Phillips, 1956); besonders stark differieren Randzone und Füllungskörper.

Aufgrund von Untersuchungen von Swartz, M. L. und R. W. Phillips, 1954 an

Amalgamproben wird festgestellt, daß bei einer grundlegend vernünftigen Technik der Quecksilberentfernung aus den einzelnen Portionen, gleichgültig nach welcher Methode, verbunden mit einer sorgfältigen Stopftechnik kaum ein Unterschied in den physikalischen Eigenschaften zu erkennen ist.

Die Amalgamkondensation läßt sich auch maschinell durchführen. Es ist dabei eher eine gewisse Normierung des Stopfvorganges möglich.

Diese besondere Technik erfordert von vornherein sehr trocken angerührtes Amalgam (Bergendal, G., 1959, Helbig, K., 1960 u. a.), das in der Kavität durch die Kondensoren wieder geschmeidig gemacht wird. Es ist also kein Stopfen im üblichen Sinne.

Lorenz, D., 1957 hält die Verwendung quecksilberreichen Amalgams für "ungünstig, unzweckmäßig, wenn nicht kontraindiziert". Man stopft nicht auf festem Untergrund, und es fällt erheblicher Stopfüberschuß an, der viel feste Legierungsbestandteile enthält. Außerdem wird das Zuviel an Quecksilber nicht genügend eliminiert (vergl. auch Helbig, K., 1954, Schulte, G.-H., 1955). Die Anreibungen dürfen aber auch nicht extrem trocken sein, weil dann sogar die maschinelle Kondensation schwierig wird. Das Amalgam erhärtet zu schnell und zeigt später physikalische Mängel.

Als Vorteile des mechanischen Stopfens werden Arbeitserleichterung, Zeiterparnis, geringe Kraftanwendung, gleichmäßiger Druck, große Härte, Festigkeit und Homogenität des Amalgams und ein gewisser Schutz gegen vorzeitige Fraktur der Füllung angegeben (Chaput, A., 1948, Phillips, R. W., 1949, Schulte, G.-H., 1955, Lorenz, D., 1957, Wolcott, R. B., 1958, Broekhuizen, zit. nach Helbig, K., 1960, Helbig, K., 1960).

Von Nachteil sind die Fortsetzung der Trituration und Teilchenzerkleinerung, die Abnahme der Expansion bis zur Kontraktion und die damit verbundene Gefährdung des Randschlusses (McDonald, R. E. und R. W. Phillips, 1950, Markley, M. R., 1951, Sperber, R., 1954, Fischer, C.-H. und H. Lehwald, 1954, Schulte, G.-H., 1955, Phillips, R. W., 1957, Hollenback, G. M., 1958, Helbig, K., 1960).

Fischer, C.-H., L. Mertensmeier und K. Mordass, 1960 stellen außerdem bei maschinell kondensierten Füllungen stärkere und frühere Korrosionsanfälligkeit an Oberfläche und Rand fest.

Bei der Benutzung mechanischer Stopfinstrumente besteht zusätzlich die Gefahr, daß es zu Schmelzverletzungen der Kavität durch Berührung mit den

harten Kondensorspitzen kommen kann (Markley, M. R., 1951, Kilpatrick, H. C., 1951, Wolcott, R. B., 1958, Miller, E. C., 1959).

Es gibt verschiedene maschinell betriebene Amalgamstopfer, die entweder mit Schlagwirkung (automatische oder pneumatische Hämmer) oder mit mechanisch oder elektromagnetisch erzeugtem Vibrationseffekt arbeiten. Sie werden meist an die Bohrmaschine angeschlossen und sind hand- oder winkelstückähnlich. Zu nennen wären Kavo-Hammer, Ampreß-Kopf nach Broekhuizen, Bergendal-Vibrator, Elektronen- und Ultraschall-Vibrator von Karlström. Jeder Apparat erfordert eine seiner Konstruktion entsprechende spezifische Stopftechnik.

Nach Ryge, G., G. Dickson, D. L. Smith und I. C. Schoonover, 1952 ergibt maschinelle Kondensierung schneller höhere Druckfestigkeit, aber weniger Expansion bis zur Kontraktion. Der verschiedene Quecksilbergehalt hat weder eine Beziehung zur Stopfmethode noch zur Druckfestigkeit, Dimensionsänderung und Mikrostruktur.

Skinner, Marois und Thibault, 1955, ref. von Eisenlohr, beobachten bei mechanisch gestopften Amalgamen Erhöhung der Bruchfestigkeit, Abnahme des Flow und Sinken der Expansion.

Mc Hugh, W. D., 1955 kann bei seinen Prüfkörpern, die in kleinen Portionen mit Vibrator gestopft wurden, eine bessere Adaptation und größere Mikrohärtte feststellen als bei den vergleichsweise handgestopften. Er hält den Gebrauch von elektrischen Stopfern für zweckmäßig.

Weißhuhn, G., 1957 stellt den Randschlußversuchen manuell kondensierter Proben die maschinell kondensierter gegenüber. Nach 24 Stunden erhält er bei ersteren 92%, bei letzteren nur 75% dichte Füllungen. Er führt dieses Ergebnis zum Teil darauf zurück, daß mit dem verwendeten mechanischen Stopfinstrument nur in vertikaler Richtung kondensiert werden konnte.

Heyden, P., 1958 beobachtet beim Vergleich manuell und maschinell gestopfter Amalgamprüfkörper eine schnellere Erhärtung und höhere Endhärte bei letzteren, hervorgerufen durch stärkeres Auspressen des Quecksilbers. Der Quecksilbarmangel bringt aber andererseits größere Porosität und größere Gefügebestandteile mit sich und dadurch verstärkte Korrosion. Klinisch wird als Folge der Amalgamkontraktion ein schlechter Randschluß sichtbar. Heyden ist der Ansicht, daß diese Nachteile die Vorteile größerer Endhärte und kürzerer Erhärtungszeit nicht aufwiegen. Die Härtewerte bei der Handstopfmethode reichen völlig aus.

Lorenz, D., 1957 erzielt bei der Verarbeitung quecksilberarmen Amalgams am Patienten "dichte und relativ porenlose, außerdem druckfeste, bruchfeste und harte Füllungen". Die Erhärtung erfolgt schneller, und es ist eher eine Belastung möglich. Die raschere Erhärtung wird nicht allein auf die Quecksilberarmut zurückgeführt, sondern auch auf die schnellere Diffusion des Quecksilbers durch das mechanische Stopfen.

Markley, M. R., 1951, Romner, A. F., 1954, Hollenback, G. M., 1958, Miller, E. C., 1959 und andere Autoren können keine nennenswerten Unterschiede zwischen der Handstopfmethode und der maschinellen Kondensation im Ergebnis der endgültigen Amalgamfüllungen feststellen.

Nach dem Legen der Amalgamfüllung wird der Patient darauf hingewiesen, die Füllung einige Zeit (die Dauer richtet sich nach der verarbeiteten Legierung) vor jeder beabsichtigten und unbeabsichtigten Druckeinwirkung zu schonen.

Politur

Über die Notwendigkeit einer Politur der fertigen Amalgamfüllung gibt es wohl keine Diskussion. Bruhn, K., 1953 dürfte mit seiner Meinung ziemlich alleine stehen, wenn er bei seinen sorgfältig gelegten und finierten Füllungen, deren Oberfläche durch Nachkondensation besonders verdichtet wurde, das Polieren für überflüssig hält. Ein bloßes Blankmachen erfolge als natürliche Politur.

Ähnlich äußert sich Bonsack, Ch., 1951; er verwendet lediglich eine mit "Malu- oder Hawe-Paste" beschickte Bürste, nachdem er die frisch gelegte Füllung schon kräftig mit einem Eiformstopfer geglättet hat.

Fischer, C.-H., L. Mertensmeier und K. Mordass, 1960 fordern auf jeden Fall die Politur, betonen jedoch, daß noch keineswegs Klarheit darüber bestehe, ob diese wesentlich zur Kariesverhütung und Korrosionsverhinderung beitrüge.

Nach Rheinwald, N., 1955 bildet sich auf jeder Amalgamfüllung als Korrosionsschutz eine Oxydschicht, die aber durch die physikalischen Eigenschaften des Materials selbst und durch besondere Mundverhältnisse wieder zerstört wird oder Risse bekommt. Durch eine Politur läßt sich nun die metallische Oberfläche mit entsprechenden Instrumenten veredeln: Risse werden ausgeglichen und die oberflächliche Metallschicht erhält ein homogenes Gefüge, so daß die Bildung einer gleichmäßigen schützenden Oxydschicht begünstigt wird.

Die Politur umfaßt das Entfernen überstehenden Füllmaterials zur Verhinderung von Speiseretention und Sekundärkaries und zur Schonung des angrenzenden lebenden Gewebes. Sie bezieht die Herstellung eines glatten Überganges vom Zahn zur Füllung mit ein, um einen exakten Randschluß zu erzielen. Ferner verfolgt sie die Verdichtung und Glättung der Füllungs Oberfläche zur Erhöhung der Korrosionsfestigkeit und Härte und zur Vorbeugung von Belagsbildung und Verfärbung. Schließlich bezweckt die Politur die Erlangung eines besseren Aussehens der Füllung (nach Helbig, K., 1958, vgl. auch Heuser, H., 1948, Rebel, H.-H., 1950, Weikart, P., 1950, Lichtenberg, H., 1950, Kilpatrick, H. C., 1951, Markley, M. R., 1951 und 1955, Obst, S., 1953, Haubeil, J., 1953 und 1957, Lacroix, R., 1954, Romner, A. F., 1954, Detto, G. und H. Sponholz, 1956, Altherr, A., 1956, Kantorowicz, G. F., 1957, Mosteller, J. H., 1957, Fischer, C.-H. und L. Mertensmeier, 1957, Wolcott, R. B., 1958, Miller, E. C., 1959, Tolman, J., 1959 u. a.).

Der Zeitpunkt der Politur spielt eine nicht geringe Rolle für den Erfolg. Er richtet sich bei den verarbeiteten Amalgamen nach deren Erhärtungsdauer, die bei hoch- und niedrigprozentigen Legierungen unterschiedlich ist. Je schneller ein Amalgam erhärtet, desto eher kann es poliert werden.

Im allgemeinen gilt die Forderung, daß die Politur nach völliger Erhärtung des Füllmaterials vorgenommen werden soll, frühestens also nach 24 Stunden, wenn die Dimensionsänderungen einen vorläufigen Abschluß gefunden haben.

Die amerikanische Spezifikation verlangt eine Polierfähigkeit 24 Stunden nach dem Anrühren des Amalgams und ein Beibehalten der Politur.

Heuser, H., 1948 rät, erst nach 48 Stunden zu polieren. Bei frühzeitiger Politur niedrigprozentiger Amalgame bestehe die Gefahr der Bearbeitung im Kontraktionszustand (geringe Wandständigkeit) und eines daraus resultierenden schlechten Randschlusses.

Nach Rebel, H.-H., 1950, Bonsack, Ch., 1951 und Kilpatrick, H. C., 1951 soll die Politur in der nächsten Sitzung des Patienten erfolgen.

Pichler, H., 1948, Corsánego, L. J. J., 1949, Markley, M. R., 1951, Haubeil, J., 1953 und 1957, Romner, A. F., 1954, Mosteller, J. H., zit. nach Baume, J., 1955, Fischer, C.-H. und L. Mertensmeier, 1957 und Hollenback, G. M., 1958 sehen eine Wartezeit von einigen Tagen als zweckmäßig an.

Miller, E. C., 1959 stellt fest, daß sich eine Füllung nach einem Tag

schlechter polieren läßt als nach einer Woche. Geyer, C.F., 1951 poliert erst nach 5 - 7 Tagen.

Helbig, K., 1953, 1954, 1957 und 1958 verlangt eine Politur frühestens nach 24 Stunden, besser jedoch erst nach einer Woche, damit der Erhärtungsprozeß ganz abgelaufen ist. Er empfiehlt die letzte Sitzung des Patienten zum Polieren.

Wichtig ist beim Poliervorgang die Vermeidung jeder Hitzeentwicklung; es sollte immer naß unter Wasserberieselung poliert werden.

Die höchstzulässige Temperatur liegt nach Wolcott, R. B., 1958 bei 65°C; bei höheren Temperaturen wird das Quecksilber aus dem Amalgam getrieben, und es bilden sich schwache oder defekte Stellen an der Füllungs Oberfläche. Markley, M. R., 1951 sieht die kritische Temperatur schon bei 60°C. Bei 60 - 65°C wird nach Mosteller, J. H., zit. nach Baume, J., 1955, das Kristallgefüge enthomogenisiert.

Kilpatrick, H. C., 1951 stellt als Folge der Quecksilber-Wegnahme eine Kontraktion an den Rändern und einen Randspalt fest. Nach Miller, E. C., 1959 tritt das Quecksilber an die polierte Fläche der Füllung, diffundiert wieder in das Amalgam hinein und hinterläßt eine raue Oberfläche, die der Korrosion anheimfällt.

Helbig, K., 1953, 1954 und 1958 beobachtet bei etwa 85°C eine Mobilisierung des Quecksilbers; es tritt an die Oberfläche oder reichert sich dort an (zit. nach Loebich, O.: das Amalgam "schmilzt"). Strukturelle Veränderungen des Amalgams mit verminderter Haltbarkeit der Füllung sind die Folge.

Die Politur beginnt im allgemeinen entweder mit gröberen oder feineren Karborundsteinchen, die der Größe und Form der Füllung angepaßt sind, oder mit verschiedenen Stahlfinierern. Man arbeitet dabei meist von der Mitte der Füllung zum Rand hin. Rebel, H.-H., 1950 zieht die umgekehrte Richtung vor. Der Überschuß an Füllmaterial wird entfernt, gröbere Rauigkeiten und Unebenheiten geglättet und zu hohe Stellen und Risse beseitigt. Bei Heuser, H., 1948 folgt nun der Schlagpolierer, der durch seine hämmernde Wirkung ideal glättet und den Randschluß verbessert und zum Schluß der Kugelpolierer. Eine Hochglanzpolitur sei nicht unbedingt notwendig, es könne mit den Poliermitteln höchstens eine Verschmutzung eines eventuell noch vorhandenen feinen Spaltes stattfinden.

Fischer, C.-H. und L. Mertensmeier, 1957 und Lorenz, D., 1957 verwenden ebenfalls den Schlag- und Kugelpolierer, die unter Druck ange-

wandt, eine Oberflächenverdichtung herbeiführen. Abschließend wird die Füllung auf Hochglanz poliert mit Filzkegel und weicher Bürste, die mit dickflüssig angerührtem Bimsstein und Schlämmerkide oder feuchten Pasten beschickt werden.

Die Angabe des Schlagpolierers fehlt bei den meisten Autoren. Nach der groben Bearbeitung wird bei ihnen die Politur mit den verschiedensten Instrumenten in unterschiedlicher Reihenfolge fortgesetzt. Es werden verwendet rotierende glatte Stahlpolierer, Gummipolierer, Holzspitzen, harte und weiche Pinsel- und Radbürstchen, Ziegenhaarbürsten, Gumminäpfchen, Filzscheiben und Filzkegel. Als Schleifmittel dienen nasser Bimsstein, ein Bimsstein-Glycerin-Gemisch oder mit Wasser angerührtes Silex. Die Hochglanzpolitur wird mit verschiedenen Poliermitteln oder Polierpasten durchgeführt (nasse Schlämmerkide, Zinnoxid, Zinnoxid-Alkohol-Gemisch, Zinkoxyd, Zinkoxyd-Alkohol-Gemisch, Ceriumoxyd, Aluminiumoxyd, Eisenoxyd, Pariser Rot, Spanisch Weiß).

Bei den Approximalflächen von Amalgamfüllungen, die der Politur schwerer zugänglich sind und bei Gebrauch glatter Matrizen ihrer kaum noch bedürfen, gelangen zur Anwendung flammenförmige Finierer, spitze Schleifsteinchen, Stahl-Karborund-Streifen, Sandpapierscheiben und -streifen, Schmirgelpapier-scheiben und Feilen (vergl. Parula, N., 1945 und 1950, Chaput, A., 1948, Corsánego, L. J. J., 1949, Rebel, H.-H., 1950, Greisel, H.-P., 1950, Lichtenberg, H., 1950, Wunderer, H., 1950, Kilpatrick, H. C., 1951, Geyer, C. F., 1951, Markley, M. R., 1951 und 1955, Haubeil, J., 1953 und 1957, Romner, A. F., 1954, Flaschentreher, M. H., 1955 und 1957, Kantorowicz, G. F., 1957, Hollenback, G. M., 1958, Miller, E. C., 1959, Mordass, K., 1959, Tolman, J., 1959, Helbig, K., 1951, 1953, 1954, 1957 u. 1958).

Helbig, K., 1958 unterscheidet beim Polieren eine "Schliffpolitur" und eine "Kondensationspolitur". Unter "Schliffpolitur" wird der Schleifvorgang mit groben oder feinen Schleifmitteln verstanden, unter "Kondensationspolitur" das Verdichten der Füllungsoberfläche mit Finierer, Schlagpolierer und glattem Stahlpolierer. Je nach der Größe der Füllung können nur die eine oder die andere Art der Politur oder beide kombiniert angewandt werden. Das Schleifen sollte stets mit geringem Druck und niedriger Tourenzahl der Bohrmaschine, das Finieren mit glattem Stahlpolierer unter hohem Druck und hoher Tourenzahl erfolgen.

Die Politur gilt im allgemeinen als beendet, wenn eine Sonde, die über den Rand zwischen Füllung und Zahn geführt wird, nicht mehr hängen bleibt.

Rebel, H.-H., 1950, Haubeil, J., 1953 und 1957, Detto, G. und H. Sponholz, 1956, Altherr, A., 1956 u.a. fordern die Kontrolle alter Amalgamfüllungen in regelmäßigen Zeitabständen auf blanke Aufbißstellen, aufgeworfenes Füllmaterial, Belag und dabei eine Nachpolitur. Helbig, K., 1954, 1957 und 1958 bezeichnet dieses etwa jährlich vorgenommene Polieren als "Jahrespolitur".

Der Erfolg und die Dauer der Politur hängen in erster Linie von einer einwandfreien Verarbeitung des Amalgams ab.

Die Amalgamfüllung

Betrachten wir noch einmal die zahlreichen Faktoren, die beim Legen von Amalgamfüllungen beachtet werden müssen, sind wir leicht geneigt, mit Fischer, C.-H., 1955 zu sagen: "Es ist eben nicht ganz so einfach, eine Amalgamfüllung wirklich exakt zu machen."

Den Erfolg oder Mißerfolg einer Füllung bestimmt weitestgehend der Zahnarzt mit seiner Arbeit. Die meisten Fehler sind auf eine schlechte Kavitätenpräparation zurückzuführen (Healey, H. J. und R. W. Phillips, 1949, Cohnert, A., 1954, Kantorowicz, G. F., 1957). Erst in zweiter Linie wird die unsachgemäße Handhabung des Amalgams selbst für die ungenügende Qualität der Füllungen verantwortlich gemacht.

In Amerika und Australien sind Richtlinien - sog. Spezifikationen - für die chemische Zusammensetzung und die Soll-Eigenschaften der Silber-Zinn-Amalgame aufgestellt worden, die heute noch, ein wenig abgeändert, ihre Gültigkeit haben.

Es werden jedoch immer mehr Stimmen laut, daß reine Laborteste allein zur Bewertung der Amalgame nicht genügen. Nach Fischer, C.-H. und L. Mertensmeier, 1957 u.a. fällt "die eigentliche Entscheidung über ein Material oder eine Verarbeitungsmethode letztlich in der Mundhöhle".

Fischer, C.-H., L. Mertensmeier und K. Mordass, 1960 stellen deshalb den in Laborprüfungen gefundenen Werten über Dimensionsverhalten und Flow klinische Beobachtungen bei denselben Legierungen gegenüber. Es werden Amalgamfüllungen aus 50%igen, 67%igen und 70%igen Feilungen in gleichartigen Kavitäten über 2 1/2 und mehr Jahre auf ihr Verhalten im Munde untersucht mit Spiegel, Sonde und Mikroskop. Die Veränderungen an Füllungsrand und -oberfläche werden photographisch festgehalten.

Dabei zeigt sich, daß die Veränderungen bei den 50%igen und 67%igen Amal-

gamen in einer bestimmten Reihenfolge ablaufen. Zunächst kommt es zur Aufwölbung des Füllungsrandes, der silbrig glänzt; nach etwa 2 Monaten treten als erste Korrosionserscheinung Bläschen im Randsaum auf, teilweise schon ohne Kuppe. Der Bläschensaum wird allmählich breiter; der Füllungsrand verliert an Härte und bröckelt ab. Bei den 50%igen Legierungen ist eine Abrundung des Randes, bei den 67%igen mehr ein Abbruch festzustellen.

Auf der Oberfläche polierter Füllungen aus verschiedenen Amalgamen können nach einem Jahr nur geringe Korrosionserscheinungen beobachtet werden; nach zwei und mehr Jahren sind jedoch die Veränderungen bei den niedrigprozentigen Amalgamen stärker ausgeprägt als bei den widerstandsfähigeren hochprozentigen.

Die Erscheinungen der Korrosion am Rande und auf der Oberfläche der Füllung schreiten langsam fort. Mechanisch kondensierte Füllungen sind gegenüber manuell kondensierten weniger homogen und schon zu einem früheren Zeitpunkt korrosionsanfälliger.

Es wird jedoch ausdrücklich betont, daß weder bei Füllungen aus 50%igen noch bei denen aus 67%igen Amalgamen ein Behandlungsmißerfolg in Form von Spalten oder Sekundärkaries festgestellt wurde.

Riethe, P., 1960 beobachtet das Schliffbild von Amalgamfüllungen, die mit Standalloy-Feilung gelegt wurden und ein Jahr den Bedingungen der Mundhöhle ausgesetzt waren. Die klinischen Ergebnisse halten einem Vergleich der experimentell gewonnenen stand und bestätigen die Qualität des verwendeten Füllungsmaterials. Die Oberflächen- und Randverhältnisse der Füllungen waren zufriedenstellend.

Wagner, E., 1962 beschäftigt sich ebenfalls mit dem Korrosionsverhalten der Amalgame. Durch ihren heterogenen Gefügebau "ist die Möglichkeit einer selektiven Korrosion infolge Lokalelementbildung gegeben, wobei die edlere Kristallart als Kathode, die unedlere Phase als Anode wirkt". Der Zinn-Quecksilber-Mischkristall ist der unedelste Bestandteil der Amalgame und bestimmt den Grad der Korrosion.

Es werden 2 - 8 Jahre alte Füllungen aus extrahierten Zähnen metallographisch untersucht und deutliche Korrosionserscheinungen festgestellt. Beim Vergleich von Amalgamfüllungen aus 50%igen Legierungen mit solchen aus höherprozentigen Legierungen schneiden erstere schlechter ab. Die Feilungen mit einem höheren Silbergehalt dürften wohl den niedrigprozentigen vorzuziehen sein. Ob jedoch ein höherer Silbergehalt tatsächlich eine größere Mundbe-

ständigkeit zur Folge hat, muß vor allem klinisch weiter untersucht werden.

Hess, W., 1949 geht der Frage nach, wie sich Füllungen im Munde von Patienten nach einiger Zeit im Hinblick auf den hermetischen Abschluß gegenüber den Kavitätenwänden verhalten. Dieser ist nicht gewährleistet, wenn noch ein Ionentransport zwischen Füllung und Kavitätenwand stattfinden kann. Die eindringenden Farbstoffe, Säuren, Alkalien, Bakterientoxine oder Bakterien selbst würden das Füllungsmaterial und die Zahnhartgewebe verändern. Laborversuche ergeben zum größten Teil einen hermetischen Abschluß. Klinische Beobachtungen fallen sogar ein wenig günstiger aus, so daß man doch mit einem gewissen Schutz der Zahngewebe auf längere Zeit rechnen kann.

Phillips, R. W., 1957 erwähnt, daß nach Versuchen mit radioaktiven Isotopen kein Zahnfüllungsmaterial eine vollkommene Adaptation an die Kavitätenwände aufweist. Amalgam zeigt noch die beste Abschlußfähigkeit (vergl. auch Mosteller, J. H., 1957). Durch Ablagerung von Metallionen und Korrosionsprodukten in den wohl immer vorhandenen Spalt zwischen Füllung und Kavitätenwand scheint die Durchlässigkeit für fremde Stoffe mit der Zeit aufzuhören (vergl. hierzu Fischer, C.-H. und L. Mertensmeier, 1957).

Wagner, E., 1962 allerdings zitiert Autoren, die eine bleibende Durchlässigkeit für Flüssigkeiten angeben.

Die Entstehung des Spaltes bei Amalgamfüllungen wird meist auf eine Kontraktion der verarbeiteten Legierung zurückgeführt. Die Ursache ist wohl eher in schlechter Kavitätenpräparation, ungenügender Kondensation mit Hinterlassen quecksilberreicher Randzonen, Fraktur dünner Federränder oder zu starken plötzlichen Temperaturschwankungen zu suchen (Phillips, R. W., 1957, Mosteller, J. H., 1957 u. a.).

DIE AMERIKANISCHE SPEZIFIKATION NR. 1

Da in der vorliegenden Arbeit die Amalgamliteratur von 1950 bis 1960 verwendet wurde, beziehen sich alle angeführten Versuche und Forderungen bei der Verarbeitung der Silber-Zinn-Legierung auf die amerikanische Spezifikation Nr. 1 in der Fassung von 1934.

Der Vollständigkeit halber sollen die Hauptpunkte der seit 1. Juli 1960 in Kraft befindlichen Spezifikation über Dentalamalgame, herausgegeben vom National Bureau of Standards in Washington, erwähnt werden.

Die Legierung zur Herstellung des Amalgams in der Zahnheilkunde, die im wesentlichen aus Silber und Zinn zusammengesetzt ist, soll in Pulver- oder Tablettenform vorliegen, hochsilberhaltig sein, mit oder ohne Zink und mit oder ohne Quecksilber.

Ist das Amalgam nach den Vorschriften in der Packung zubereitet worden, soll es folgende Werkstoffeigenschaften aufweisen:

1. In spätestens 90 Sekunden nach begonnener Trituration soll es zur Kondensation fertig sein (Amalgamationszeit).
2. Die Legierung soll ein glattes, plastisches Amalgam ergeben (Konsistenz).
3. Sofort nach der Kondensation soll das Amalgam empfindlich sein gegen ein Schnitzen bis mindestens 15 Minuten nach der Amalgamation. Läßt sich das Amalgam nach 15 Minuten leicht schneiden und zeigt keine sofortige Erhärtung, soll es verworfen werden.
4. Die chemische Zusammensetzung der Legierung soll sein: Silber 65% Minimum, Zinn 29% Maximum, Kupfer 6% Maximum, Zink 2% Maximum, Quecksilber 3% Maximum.

Andere Elemente können verwendet werden. Der Hersteller soll dann aber die Zusammensetzung der Legierung angeben und klinische und biologische Untersuchungen darstellen, um die Zuverlässigkeit der Legierung für die Verwendung im Munde zu zeigen.

Fließen

Proben, die einem konstanten Druck von 105 kg/cm^2 (nahezu 1500 Pfund/in.²) unterworfen werden, sollen nicht mehr als 4% Fluß zeigen (d.h. nicht mehr als 4% Kürzung in der Länge der Probe) innerhalb von 21 Stunden.

Dimensionsänderung

Die Zunahme in der Länge der Probe während der Erhärtung soll nicht weniger als 0 und nicht mehr als 20 Mikron/cm nach 24 Stunden betragen.

In jeder Packung soll vom Hersteller eine Gebrauchsanweisung für das Amalgam mitgeliefert werden. Diese soll enthalten:

1. Das Dosierungsverhältnis Legierung zu Quecksilber.
2. Die spezifizierte Methode der Amalgambereitung für die manuelle Trituration. Festlegung von Form, Größe, Muster und Material des Mörsers und des Pistills; der auf das Pistill auszuübende Druck; die ungefähre Anzahl von Umdrehungen pro Minute, die das Pistill bewegt wird und die Zeit, die für eine Mischung von etwa 0,4 Gm. (6 grains) der Legierung mit der empfohlenen Menge Quecksilber erforderlich ist.

Andere Triturationsmethoden sollen vom Hersteller so genau in jeder Einzelheit angegeben werden, daß reproduzierbare Versuchsangaben nach den Testverfahren der Spezifikation möglich sind.

3. Was die Kondensation anbetrifft, soll aufgezeigt werden, wann und wie der Quecksilberüberschuß auszudrücken ist und die Stopfmethode für kleine und große Füllungen.
4. Enthält die Legierung Zink in einer so großen Menge, daß eine Zersetzung des Wassers unter Wasserstoffentwicklung vorkommen kann, soll folgendes in der Gebrauchsanweisung deutlich gedruckt sein: "Die Legierung enthält Zink und das daraus zubereitete Amalgam wird übermäßige Korrosion und Expansion zeigen, wenn Feuchtigkeit während des Mischens und Stopfens des Amalgams hinzutritt. Deshalb sollte das Amalgam nicht in der bloßen Hand geknetet oder mit der bloßen Hand berührt werden und weder in eine nasse Kavität gestopft noch auf irgendeine Weise mit Feuchtigkeit in Berührung gebracht werden."

Physikalische Tests

Die Vorbereitung aller Versuchskörper und alle Versuche sollen bei einer Temperatur von $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ($71,6 \pm 3,6^{\circ}\text{F}$) durchgeführt werden, wenn nicht anders im einzelnen angegeben. Die Anweisungen des Herstellers sind zu befolgen.

In einem Mörser mit einem Wall innen (erhobenes Zentrum) sollen mit einem passenden Glaspistill 4/10 g (6 grains) Legierung und die notwendige Menge Quecksilber nach Vorschrift trituriert werden. Das Amalgam gilt als stopffertig, wenn es sich an die Wände des Mörsers anschmiegt und eine glatte zu-

sammenhängende Masse darstellt.

Die Zeit, die zwischen Beginn der Trituration und oben beschriebenem Aussehen des Amalgams verstreicht, gilt als Amalgamationszeit.

Fließen

Der Probekörper soll einen Zylinder von 4 mm (0,157 in.) Durchmesser und 8 mm (0,315 in.) Länge darstellen. Dieser wird bereitet durch Kondensieren des Amalgams in eine starre Stahlform, die eine Höhlung von 4 mm (0,157 in.) Durchmesser und ungefähr 11 mm (0,433 in.) Länge hat; dabei soll soweit wie möglich die in der Gebrauchsanweisung angegebene Technik angewandt werden. Die Stahlform soll bei einer Temperatur von $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($98,6 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) gehalten werden außer während des Stopfens der Probe. Nach beendeter Kondensation soll der Prüfkörper aus der Form entfernt und in eine Umgebung von $37^{\circ} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($98,6 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) gelegt werden. Vor dem Einlegen in das Flow-Mikrometer sollen die Enden plan und rechtwinklig zur Achse gestaltet werden, so daß die Länge der Probe 8 mm (0,315 in.) beträgt. 3 Stunden nach Beginn der Amalgamation wird der Probekörper einer konstanten axialen Belastung von 105 kg/cm^2 (1500 Pfund/in^2) ausgesetzt. Diese Belastung soll 21 Stunden andauern. Die Längenänderung der Probe wird bestimmt. Während dieses Versuches soll die Temperatur des Prüfkörpers bei $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($98,6 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) gehalten werden. Die durchschnittliche Kürzung, die man von zweien solcher Proben erhält, soll der registrierte Wert für das Fließen sein.

Dimensionsänderung

Der Probekörper wird hergestellt, indem das Amalgam in eine starre Stahlform mit einer Höhlung von ungefähr 5 mm (0,197 in.) Durchmesser und 10 mm (0,394 in.) Länge gestopft wird, dabei soweit wie möglich die in der Gebrauchsanweisung beschriebene Technik befolgend. Die Stahlform soll bei einer Temperatur von $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($98,6 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) gehalten werden außer während des Stopfens der Probe. Der Prüfkörper wird aus der Form entfernt, sobald die Kondensation beendet ist und nicht später als 10 Minuten nach Beginn des Mischens. Die Probe soll dann in eine Umgebung von $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($98,6 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) gebracht werden. Der Probekörper wird in das Meßinstrument gelegt und soll während des Versuches keiner Einengung unterworfen werden. Die erste Messung soll 15 Minuten nach Beginn des Mischens erfolgen. Die letzte Messung soll nach 24 Stunden vorgenommen werden. Während dieses Versuches soll die Temperatur der Probe bei $37 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ($98,6 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) gehalten werden. Die durchschnittliche Änderung in der Länge zweier solcher Proben soll der registrierte Wert für die Abbindeänderung sein.

ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Teil der Arbeit werden die wichtigsten Eigenschaften des Silber-Zinn-Amalgams erwähnt und die neueren Untersuchungen über Dimensionsverhalten, Flow, Härte, Festigkeit und Alterung gebracht.

Der zweite Teil befaßt sich mit der Verarbeitung des Amalgams als Zahnfüllungsmaterial. Neben der Voraussetzung einer exakten Kavitätenpräparation sind eine Reihe von Faktoren ausschlaggebend für die Güte der endgültigen Amalgamfüllung.

1. Die Eigenschaften der gewählten Legierung sollen dem Zahnarzt bekannt sein.
2. Es soll eine möglichst feinkörnige Amalgamfeilung verwendet werden.
3. Die Legierung darf bis zum Zeitpunkt der Verarbeitung nicht zu lange gelagert haben.
4. Das vom Hersteller angegebene optimale Mischungsverhältnis ist einzuhalten.
5. Es darf nach Beginn des Mischvorganges weder Quecksilber noch Feilung hinzugefügt werden.
6. Man soll eine möglichst vertraute Mischmethode anwenden, entweder die manuelle oder die maschinelle.
7. Die Mischgefäße müssen sauber und trocken sein.
8. Bei der Amalgamzubereitung im Mörser oder Gummifingerling ist zu beachten:
 - a) Druck (vgl. S. 25),
 - b) Geschwindigkeit (Anzahl der Pistillumdrehungen oder Knetbewegungen pro Zeit) (vgl. S. 25),
 - c) Zeit (vgl. S. 25).
9. Eine Untertrituration soll vermieden werden.
10. Das fertig gemischte Amalgam muß die richtige Konsistenz haben (vgl. S. 26).
11. Während des Mischens und der nachfolgenden Kondensation darf das Amalgam nicht mit Feuchtigkeit in Berührung kommen.
12. Das frisch zubereitete Amalgam soll sofort mit geeigneten Instrumenten in die Kavität gebracht werden.

13. Das Einbringen in die Kavität erfolgt in angemessenen kleinen Portionen.
14. Die Kondensation wird von Hand oder mechanisch durchgeführt.
15. Aus jeder einzelnen Portion wird kurz vor dem Stopfen das überschüssige Quecksilber ausgepreßt; das Amalgam darf weder zu feucht noch zu trocken sein.
16. Das Amalgam soll unter hohem Druck in der Kavität kondensiert werden, dabei von der Mitte des Bodens zu den Wänden hin arbeitend.
17. Das an der Oberfläche jeder Amalgamschicht auftretende Quecksilber wird eliminiert.
18. Bei der Kondensation sind Stopfinstrumente zu verwenden, die der Größe und Form der Kavität entsprechen.
19. Bevorzugt werden plane und glatte Stopfer.
20. Es soll ohne unnötige Verzögerung gestopft werden.
21. Wenn die Kristallisation des Amalgams beginnt, sollte der Stopfvorgang beendet sein.
22. Bereits erhärtetes Amalgam ist nicht mehr zu gebrauchen; eine neue Mischung wird im allgemeinen notwendig sein, bis auf geringe Ausnahmen.
23. Der obere Teil der Füllung soll besonders sorgfältig kondensiert werden zur Erzielung einer möglichst quecksilberarmen Oberfläche.
24. Die Kavität wird überfüllt und das Amalgam bis auf das Niveau des Zahnschmelzes abgetragen.
25. Das Modellieren und Konturieren der Füllung erfolgt mit scharfen Instrumenten vom Zahn zur Füllung hin.
26. Die Amalgamfüllung wird abgeschwächt anatomisch gestaltet.
27. Eine abschließende Politur der fertigen Füllung, zweckmäßigerweise in der letzten Sitzung des Patienten, ist unbedingt erforderlich.
28. Dabei soll jede Hitzeentwicklung vermieden werden.
29. Der Poliervorgang erfolgt nach der üblichen Methode und wird beendet, wenn eine vom Zahn zur Füllung geführte Sonde nicht mehr hängen bleibt.

30. Eine gute Amalgamfüllung sollte die Forderung
weitgehender Volumenbeständigkeit,
engster Wandadaptation,
ausreichender Härte und Festigkeit,
einwandfreien Randschlusses,
geringster Porosität,
begrenzter Korrosion und
möglichst weitgehender Farbbeständigkeit
erfüllen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. Adolph, W. Soll Zinn-Silber-Amalgam von Hand oder maschinell angerieben werden? Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.4, 380 (1957).
2. Albers, F. Untersuchungen über das Fließen (Flow) von Edelmetallamalgamen, Med.Diss. Göttingen 1955.
3. Altherr, A. Die Fließerscheinung an Silberamalgamen, Med. Diss. Zürich 1956.
4. Baume, J. Strittige Fragen der konservierenden Zahnheilkunde in amerikanischer Sicht: Amalgam, Caries profunda, Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.10, 713 (1955).
5. Bergendal, G. Amalgamvibrator nach Bergendal, aus Manuskript, Quintessenz H.2, Referat Nr.1175 (1959).
6. Bergendal, G. Amalgamvibrator enl. Bergendal, Svensk Tandläk. Tskr. H.3, 109 (1959).
7. Bobert, K. Messungen von Härte und Erhärtungsgeschwindigkeit an Edelmetallamalgamen nach Stopfen mittels eines Vibrators, Med.Diss. Düsseldorf 1956.
8. de Boer, J. G. Die Verhütung der sekundären Expansion von zinkhaltigen Amalgamfüllungen, Zahnärztl. Welt/Reform H.2, 39 (1956).
9. Bonsack, Ch. Comment obtenir un amalgame de qualité? Schweiz. Mschr. Zahnhk. H.11, 1191 (1951).
10. Bonsack, Ch. De la relativité en art dentaire, Schweiz. Mschr. Zahnhk. H.11, 1184 (1951).
11. Bruhn, K. Amalgambereitung und -verarbeitung, Zahnärztl. Rdsch. H.3, 71 (1953).
12. Chaput, A. A propos des amalgames d'argent, Revue de Stomat. H.5/6, 336 (1948).
13. Cohnert, A. Kritische Betrachtung und Bewertung von 10 000 Amalgamfüllungen, Med.Diss. Göttingen 1954.
14. Corsánego, L. J. J. Obturaciones con amalgama de plata. Condensación de las mismas, Rev.Odont.Arg. H.4, 155 (1949).
15. Crawford, W. H. u. Dental restorative materials: amalgams, acrylics, J. H. Larson J. Dent. Res. H.3, 414 (1954).
16. Crowell, W. S. u. Physical properties of amalgam as influenced by R. W. Phillips variation in surface area of the alloy particles, J. Dent. Res. H.6, 845 (1951).

17. Detto, G. und H. Sponholz Die Bedeutung der Zusammensetzung und Verarbeitung des Silberamalgams in der zahnärztlichen Praxis, Zahnärztl. Welt/Reform. H. 12, 315 (1956).
18. Docking, A. R. Müssen die Amalgam-Spezifikationen revidiert werden? Zahnerhaltungskunde. H. 1 in: Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 6, 348 (1958).
19. Docking, A. R. Recent advances in the non-resinous filling materials, Int. Dent. J. H. 4, 482 (1954).
20. McDonald, R. E. u. R. W. Phillips Clinical observations on a contracting amalgam alloy, J. Dent. Res. H. 4, 482 (1950).
21. Drum, W. Eine neue Methode zur Herstellung von Amalgamfüllungen, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 6, 317 (1953).
22. Eames, W. B. Preparation and condensation of amalgam with a low mercury-alloy ratio, J. Amer. Dent. Assoc. 58, H. 4, 78 (1959).
23. Ehrlich, R. Untersuchungen über das Volumverhalten von Amalgam-Füllungen unter besonderer Berücksichtigung der Stopfmethode, Med. Diss. Tübingen 1955.
24. Essl, R. Die Entwicklung der Amalgamfrage in Amerika in den letzten zwei Jahren, Med. Diss. München 1956.
25. Ficht, A. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten verschiedener Amalgame, Med. Diss. Göttingen 1953.
26. Ficht, A. und C.-H. Fischer Untersuchungen über das Dimensionsverhalten verschiedener Amalgame, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 12, 672 (1954).
27. Fischer, C.-H. Ergebnisse neuerer Amalgamuntersuchungen, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 14, 151 (1953).
28. Fischer, C.-H. Ergebnisse neuerer Amalgamuntersuchungen, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 1, 21 (1954).
29. Fischer, C.-H. Kann die Amalgamfüllung verbessert werden? Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 23, 1595 (1955).
30. Fischer, C.-H. und K. Franke Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Amalgamen bei verschiedenen Meßmethoden, Zahnerhaltungskunde. H. 1 in: Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 7, 402 (1954).
31. Fischer, C.-H. u. W. Kleimann Das Dimensionsverhalten von Amalgamen in Kavitäten, Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Bd. 19, H. 9 u. 10, 347 (1954).

32. Fischer, C.-H. u. H. Lehwald Neuartige Untersuchungen über die Dimensionsänderungen der Amalgame während der Erhärtung, Teil I und Teil II, Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Bd.20, H.11 u.12, 463 (1954).
33. Fischer, C.-H. u. H. Lotz Untersuchungen über die Möglichkeit der Verbesserung des Dimensionsverhaltens 50%iger Silberamalgame, Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.4, 193 (1954).
34. Fischer, C.-H. u. L. Mertensmeier Vergleichende klinische und experimentelle Untersuchungen an verschiedenen handelsüblichen Amalgamen, Dtsch. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Bd.26, H.5 u.6, 205 (1957).
35. Fischer, C.-H. u. E. Nöcker Das Fließen bei Amalgamen mit niedrigem Silbergehalt, Zahnerhaltungskunde. H.1 in: Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.6, 497 (1959).
36. Fischer, C.-H., L. Mertensmeier u. K. Mordass Vergleichende klinische Untersuchungen von Amalgamfüllungen aus verschiedenen Silberlegierungen, Zahnerhaltungskunde. H.2 in: Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.12, 939 (1960).
37. Flaschentreher, M. H. Füllung oder Krone? Zahnärztl. Welt/Reform. H. 17/18, 340-342 (1955).
38. Flaschentreher, M. H. Die Indikation der verschiedenen Füllungsmaterialien und ihre Verarbeitung, Zahnärztl. Welt/Reform. H.18, 515 (1957).
39. Franke, K. Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Amalgamen bei verschiedenen Meßmethoden, Med.Diss. Göttingen 1953.
40. Freidank, O. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von handelsüblichen Silberamalgamen, die nach ihrem Silbergehalt der Spezifikation Nr.1 des National Bureau of Standards entsprechen oder als solche dem Zahnarzt angeboten worden sind, Med.Diss. Göttingen 1956.
41. Freytag, A. In welchem Umfang gibt eine bestimmte Amalgamstopftechnik einen reproduzierbaren Randschluß? Med.Diss. Mainz 1956.
42. Geyer, C. F. Die Amalgamfüllung. Ein USA-Beitrag zur Verbesserung zahnärztlicher Arbeitsmethoden, Zahnärztl. Rdsch. H.9/10, 155 (1951).

43. Gloor, E. Das Volumenverhalten von Silberamalgamen, Med. Diss. Zürich 1957.
44. Greisel, H.-P. Der gegenwärtige Stand der Amalgamforschung in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, Med. Diss. München 1950.
45. Hagedorn, F. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Silberamalgamen, Dtsch. Zahnärztebl. H. 6, 198 (1956).
46. Haubeil, J. Bemerkungen zur Technik der Amalgamfüllung, Zahnärztl. Welt. H. 23, 588 (1953).
47. Haubeil, J. Die Amalgamfrage im Blickwinkel des Praktikers, Zahnärztl. Welt/Reform. H. 14, 401 (1957).
48. Healey, H. J. und R. W. Phillips A clinical study of amalgam failures, J. Dent. Res. H. 5, 439 (1949).
49. Helbig, K. Amalgame mit hohem oder niedrigem Silbergehalt? Dtsch. Dent. Zschr. H. 51/52, 832 (1951).
50. Helbig, K. Über die Kondensierung von Amalgamen durch Vibration, Dtsch. Dent. Zschr. H. 34, 548 (1951).
51. Helbig, K. Die Normung des Arbeitsganges bei Edelamalgamen durch Agestan-Amalgamtabletten, Dtsch. Dent. Zschr. H. 21, 334 (1951).
52. Helbig, K. Ein Beitrag zur prophylaktisch ausgerichteten Zahnbehandlung unter Berücksichtigung der Silber- und Kupferamalgamfüllung, Zahnärztl. Reform (ehem. Dent. Reform). H. 13/14, 227 (1953).
53. Helbig, K. Über das Stopfen des Amalgams. Diskussionsbeitrag zum gleichen Thema von V. K. Ilg in der Dtsch. zahnärztl. Zschr. 1953, H. 5, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 19, 1071 (1953).
54. Helbig, K. Zur Technik der Amalgamfüllung (Diskussionsbeitrag zum gleichen Thema von Haubeil in Nr. 23/1953 der ZW), Zahnärztl. Welt. H. 12, 328 (1954).
55. Helbig, K. Die Amalgamfrage im Blickwinkel des Praktikers (Diskussionsbeitrag zum gleichen Thema von Haubeil in ZWR, H. 14, 1957), Zahnärztl. Welt/Reform. H. 21, 603 (1957).
56. Helbig, K. Die "Expansions-Stauchung" und die "Kondensations-Stauchung" des Amalgams, Dtsch. Zahnärztebl. H. 17, 588 (1958).

57. Helbig, K. Die Kondensationspolitur der Amalgamfüllung, Dtsch. Zahnärztebl. H. 18, 626 (1958).
58. Helbig, K. Diskussionsbemerkungen eines Praktikers zu den Begriffen über die "letzte Stopfbarkeit" und "letzte Adaptierfähigkeit" von Füllungsamalgamen nach Ilg, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 13, 778 (1958).
59. Helbig, K. Über die Kondensation von Amalgamen durch Vibration mit dem "Ampreß-Kopf" nach Broekhuizen, Zahnärztl. Welt/Reform. H. 13, 422 (1960).
60. Helbig, K. Über die Kondensation von Amalgamen durch Vibration mit dem Amalgamvibrator nach Bergendal, Zahnärztl. Welt/Reform. H. 9, 283 (1960).
61. Hess, W. Über die Abschlußdichtigkeit der in der Zahnheilkunde gebräuchlichen Füllungsmaterialien, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 8, 533 (1949).
62. Heuser, H. Oberflächenmikroskopische Untersuchungen über den Randschluß von Füllungen, Stoma. H. 1, 5 (1948).
63. Heyden, P. Untersuchungen an maschinell- und handgestopften Amalgamen, Österr. Zschr. Stomat. H. 5, 225 (1958).
64. Hiltbrunner, F. Die dynamische Schubfestigkeit zahnärztlicher Silberamalgame, Med. Diss. Zürich 1956.
65. Hollenback, G. M. The condensation of amalgam, J. Amer. Dent. Assoc. 56, H. 6, 807 (1958).
66. McHugh, W. D. Experiments on the hardness and adaptation of dental amalgam as affected by various condensation techniques, Brit. Dent. J. H. 2, 44 (1955).
67. Ilg, V. K. Werkstoff- und Verarbeitungsnormen zahnärztlicher Werkstoffe, aufgestellt durch das National Bureau of Standards, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 11, 743 (1949).
68. Ilg, V. K. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten (Expansion und Kontraktion) der Füllungsamalgame I, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 3, 127 (1951).
69. Ilg, V. K. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten (Expansion und Kontraktion) der Füllungsamalgame II, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 4, 189 (1951).
70. Ilg, V. K. Über den Randschluß der Amalgamfüllungen, Stellungnahme zu dem Beitrag von Otto Loebich, Pforzheim, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 21, 1212 (1951).
71. Ilg, V. K. Über das Stopfen des Amalgams, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 5, 259 (1953).

72. Ilg, V. K. Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Plastizität, Stopfbarkeit und Adaptierbarkeit von Füllungsamalgamen, Dtsch.zahnärztl. Zschr. H. 8, 429 (1956).
73. Kantorowicz, G. F. Finishing amalgam restorations, Dent. Practitioner. H. 3, 64 (1957).
74. Karlström, S. Amalgamkondensering medelst lågfrekvensvibrator och elektronvibrator, Svensk Tandläk. Tskr. H. 5, 281 (1949).
75. Karlström, S. Amalgamkondensering medelst ultraljud, Svensk Tandläk. Tskr. H. 4, 285 (1950).
76. Karlström, S. A new vibrator for amalgam condensation and removal of calculus, J. Prosth. Dent. H. 3, 586 (1960).
77. Kilpatrick, H. C. Elimination of factors affecting the finish of amalgam restorations, Dent. Digest. H. 9, 401 (1951).
78. Kleimann, W. Neue Untersuchungen über das Expansionsverhalten von Amalgamen und ihre Folgerungen in Bezug auf die Spezifikationen des National Bureau of Standards, Med. Diss. Göttingen 1953.
79. Kullmann, I. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von 50%igen Silberamalgamen und Kupferamalgamen in einer Kavität, Med. Diss. Göttingen 1954.
80. Lacroix, R. Amalgames dentaires: Contrôles physiques et applications cliniques, Schweiz. Mschr. Zahnhk. H. 9, 906 (1951).
81. Lacroix, R. Grundsätzliches über die optimale Anwendung von Dentalamalgamen, Dtsch.zahnärztl. Zschr. H. 13, 749 (1954).
82. Lane, J. R. A survey of dental alloys, J. Amer. Dent. Assoc. 39, H. 4, 414 (1949).
83. Laube, M. Einfluß der Amalgamationsmethoden auf die Expansion, die Stauchung und die Erhärtungsgeschwindigkeit einer nach neuen Methoden hergestellten vor-amalgamierten Feilung, Med. Diss. Heidelberg 1954.
84. Lehwald, H. Neuartige Untersuchungen über die Dimensionsänderungen der Amalgame während der Erhärtung, Med. Diss. Göttingen 1954.
85. Lichtenberg, H. Die approximale Amalgamfüllung. Röntgenologische Untersuchung auf überstehende Füllungsänder, Ursachenfeststellung und Hinweise zur Vermeidung von Füllungsfehlern, Med. Diss. Göttingen 1949.

86. Lichtenberg, H. Die approximale Amalgamfüllung. Röntgenologische Untersuchung auf überstehende Füllungsrande, Ursachenfeststellung und Hinweise zur Vermeidung von Füllungsfehlern, Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.13, 693 (1950).
87. Loebich, O. Moderne zahntechnische Werkstoffe, Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.13, 849 (1949).
88. Loebich, O. Über den Randschluß der Amalgamfüllung, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H.21, 1194 (1951).
89. Loebich, O. Über den Randschluß von Amalgamfüllungen, Eine Antwort auf einige Fragen von V.K.Ilg (Dtsch.zahnärztl. Zschr. 1951, Heft 21), Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.12, 716 (1952).
90. Loebich, O. Guter Randschluß bei Amalgamfüllungen, Quintessenz. H.5, Referat Nr.182 (1952).
91. Loebich, O. Untersuchungen über das Fließen der Amalgame, Zahnerhaltungskunde. H.4 in: Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.23/24, 1386 (1954).
92. Lorenz, D. Die chemische Zusammensetzung von Amalgamfüllungen in ihrer Beziehung zum Mischungsverhältnis der Ausgangsmaterialien und zur Stopfmethode, Med.Diss. Göttingen 1957.
93. Lotz, H. Untersuchungen über Möglichkeiten der Dimensionsverbesserung 50%iger Silberamalgame, Med.Diss. Göttingen 1953.
94. Markley, M. R. Restorations of silver amalgam, J. Amer. Dent. Assoc. 43, H.2, 133 (1951).
95. Markley, M. R. Amalgam restorations for class V cavities, J. Amer. Dent. Assoc. 50, H.3, 306-309 (1955).
96. Matthews, E. Dental materials, Int. Dent. J. H.2, 247 (1951).
97. Mertensmeier, L. Vergleichende klinische und experimentelle Untersuchungen an verschiedenen handelsüblichen Amalgamen, Med.Diss. Göttingen 1957.
98. Miller, E. C. Technique for building amalgam restorations, J.Prosth.Dent. H.4, 652 (1959).
99. Mordass, K. Vergleichende klinische Untersuchungen von Amalgamfüllungen aus verschiedenen Legierungen und ihre photographische Dokumentation, Med.Diss. Göttingen 1959.

100. Mosteller, J. H. Role of silver amalgam in a modern dental practice, J. Amer. Dent. Assoc. 55, H.3, 335 (1957).
101. Nachlin, J. J. A type of pain associated with the restoration of teeth with amalgam, J. Amer. Dent. Assoc. 48, H.3, 284 (1954).
102. Neubohn, H.-W. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten eines 50%igen Silberamalgams in Glaskavitäten bei Veränderung der Anmischmethode, Med. Diss. Göttingen 1955.
103. Nöcker, E. Untersuchungen über das Fließ- (Flow-) und Dimensionsverhalten bei Amalgamen mit einem Silbergehalt unterhalb der Vorschriften des National Bureau of Standards, Med. Diss. Göttingen 1957.
104. Nölle, A. Der Einfluß der Stopftechnik auf das Volumenverhalten von Amalgamfüllungen, Med. Diss. Köln 1955.
105. Obst, S. Ritzhärteprüfungen an Amalgamen unter besonderer Berücksichtigung der praktischen Verarbeitung, Med. Diss. Göttingen 1953.
106. Overdiek, H. F. Manuelles und mechanisches Anmischen von Amalgamen, Zahnärztl. Praxis. H.6, 1 (1957).
107. Parula, N. Algunas consideraciones sobre las obturaciones de amalgama, Rev. Odont. Arg. H.4, 138 (1945).
108. Parula, N. Detalle de interés en la manipulación de la amalgama que el práctico general desea conocer, Rev. Odont. Arg. H.1/2, 46 (1950).
109. Patermann, H. Der Mikrokator zur Untersuchung von Amalgamen, Med. Diss. Göttingen 1955.
110. Perlick, B. Die Abhängigkeit der Spaltbildung von der Stopftechnik bei Füllungsamalgamen. Untersuchungen mit einer neuen Kontrollmethode, Med. Diss. Marburg 1959.
111. Phillips, R. W. Compressive strength of amalgam as related to time, J. Dent. Res. H.4, 348 (1949).
112. Phillips, R. W. Research on dental amalgam and its application in practice, J. Amer. Dent. Assoc. 54, H.3, 309 (1957).
113. Phillips, R. W. u. M. L. Swartz Mercury analysis of one hundred amalgam restorations, J. Dent. Res. H.6, 569 (1949).
114. Phillips, R. W., M. L. Swartz u. R. Boozayaangool Effect of moisture contamination on the compressive strength of amalgam, J. Amer. Dent. Assoc. 49, H.4, 436 (1954).

115. Pichler, H. Das Füllen der Zähne. Ein Leitfaden für Studenten. Verlag Urban & Schwarzenberg, Wien 1948.
116. Pieloth, P. Untersuchungen über die Bedeutung des Stopfdruckes für das Dimensionsverhalten der Amalgame, Med. Diss. Göttingen 1955.
117. Rebel, H.-H. Konservierende Zahnheilkunde. Carl Hanser Verlag, München 1950.
118. Rheinwald, N. Über das edle Verhalten der Amalgame, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H.23, 1608 (1955).
119. Riethe, P. Untersuchungen über das Verhalten voramalgamierter Legierungen, Zahnärztl. Welt/Reform. H.17, 463 (1958).
120. Riethe, P. Der Einfluß der Nachalterung auf die Eigenschaften handelsüblicher Amalgame, Zahnärztl. Welt/Reform. H.3, 65 (1960).
121. Riethe, P. Über die Nachalterung von 50% und 67% Silber enthaltenden Amalgamen, Zahnärztl. Welt/Reform. H.7, 201 (1961).
122. Riethe, P. und U. Schade Untersuchungen über die Schneidfähigkeit (Carving) von Amalgamen, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H.21, 1369 (1961).
123. Riethe, P. und U. Schade Untersuchungen über die Druckfestigkeit (Compressive Strength) von Amalgamen, Zahnärztl. Welt/Reform. H.23, 753 (1961).
124. Romner, A.F. Amalgamfüllungen, Quintessenz. H.4, Referat Nr. 427 (1954).
125. Ryge, G., G. Dickson, D. L. Smith u. I. C. Schoonover Dental amalgam: the effect of mechanical condensation on some physical properties, J. Amer. Dent. Assoc. 45, H.3, 269 (1952).
126. Ryge, G., R. F. Telford und C. W. Fairhurst Strength and phase formation of dental amalgam, J. Dent. Res. H.6, 986 (1957).
127. Ryge, G., C. W. Fairhurst u. R. E. Oberbreckling Proportion of dental amalgam, J. Dent. Amer. Assoc. 57, H.4, 496 (1958).
128. Schill, H.-J. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Amalgamen bei zeitlicher Verschiebung des Meßbeginns in Abänderung der Spezifikation Nr.1 des National Bureau of Standards, Med. Diss. Göttingen 1956.

129. Schoch, P. Volumenmessungen bei Zahnamalgamen, Med.Diss. Tübingen 1954.
130. Schoch, P. und Die Porosität unserer Amalgamfüllungen, Zahnerhaltungskunde. H.2, in: Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.10, O. Loebich 785 (1955).
131. Schulte, G.-H. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von Amalgamen in Abhängigkeit von der Benutzung mechanischer Schüttelgeräte, Med.Diss. Göttingen 1955.
132. Skinner, Marois, Etude comparative entre la condensation mécanique Thibault, ref. v. par vibration et la condensation manuelle de l'amalgame, Dtsch.zahnärztl. Zschr. H.6, 511 (1955). Eisenlohr
133. Smith, E. A. Particle size of dental amalgam alloys, Brit.Dent. J. H.2, 34 (1949).
134. Sperber, R. Untersuchungen über die Abhängigkeit der Dimensionsänderungen handelsüblicher Amalgame von der Stopftechnik, Med.Diss. Göttingen 1954.
135. Starklof, E. Zur Frage der Alterung der Amalgamfeilung, Zahnärztl. Welt. H.19, 562 (1950).
136. Steidle, K. Das Volumenverhalten von Silber-Zinn-Amalgamen bei verschiedener Stopftechnik, Med.Diss. Tübingen 1954.
137. Strader, K. H. Amalgam alloy: its heat treatment, flow, mercury content and distribution of dimensional change, J. Amer. Dent. Assoc.38, H.5, 602 (1949).
138. Swartz, M. L. und A study of amalgam condensation procednres with R. W. Phillips emphasis on the residual mercury content of the increments. I. Strength, flow and dimensional change, J. Dent. Res. H.1, 12 (1954).
139. Swartz, M. L. und Residual mercury content of amalgam restorations R. W. Phillips and its influence on compressive strength, J. Dent. Res. H.3, 458 (1956).
140. Taylor, N. O., The effects of variable factors on crushing strengths W. T. Sweeney, of dental amalgams, J. Dent. Res. H.3, 228 (1949). D. B. Mahler und E. J. Dinger
141. Taylor, N. O., Some mechanical characteristics of amalgamators, W. T. Sweeney u. J. Dent. Res. H.3, 396 (1950). D. B. Mahler

142. Tolman, J. Die Politur von Amalgamfüllungen, Actualités Odontostomatologiques 48, Seite 463-466 (1959).
143. von Verbowsky, M. Über den Einfluß von Silbergehalt und Korngröße der Amalgamfeilung auf den Randschluß der Amalgamfüllung, Med. Diss. Mainz 1957.
144. Wagner, E. Beitrag zur Klärung des Korrosionsverhaltens der Silber- Zinn- Amalgame, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 2, 99 (1962).
145. Weikart, P. Leitfaden der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Carl Hanser Verlag, München 1950.
146. Weikart, R. Das Volumenverhalten von Amalgam in Abhängigkeit von der Stopftechnik, Zahnärztl. Praxis. H. 2, 5 (1955).
147. Weißhuhn, G. Abhängigkeit des Randschlusses der Amalgamfüllung von den Eigenschaften der Amalgamfeilung, Med. Diss. Mainz 1957.
148. Werner, K.-J. Untersuchungen über das Dimensionsverhalten von 50-70%igen Silberamalgamen bei verschiedenen Bedingungen mit dem Dilatometer nach Bollenrath und dem Dilatometer nach Winterhager, Med. Diss. Göttingen 1956.
149. Wildisen, W. Die interdentalen Randverhältnisse bei Amalgamfüllungen, Med. Diss. Basel 1952.
150. Wilson, R. T., R. W. Phillips u. R. D. Norman Influence of certain condensation procedures upon the mercury content of amalgam restorations, J. Dent. Res. H. 3, 458 (1957).
151. Winterhager, H. Neuere Erkenntnisse der Vorgänge bei der Erhärtung von Dentalamalgamen, Dtsch. zahnärztl. Zschr. H. 23, 1602 (1955).
152. Wolcott, R. B. Failures in dental amalgam, J. Amer. Dent. Assoc. 56, H. 4, 479 (1958).
153. Wunderer, H. Plastische Füllungen mit Stahlkontaktpunkten, Zahnärztl. Welt. H. 1, 8 (1950).

An dieser Stelle sei Herrn Priv.-Doz. Dr. Dr. P. Riethe für die freundliche Überlassung des Themas, die Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit sowie die schnelle Durchsicht herzlich gedankt.

LEBENS LAUF

Am 6. Oktober 1935 wurde ich, Ingrid Margot Heym, als Tochter des Zahnarztes Dr. Richard Heym und seiner Ehefrau Hedwig, geb. Kringel, in Gronau/Westf. geboren.

Von 1942 - 1946 besuchte ich in meinem Heimatort Bentheim die Volksschule, anschließend in Nordhorn die Staatl. Oberschule mit gymn. Zug und legte dort am 1. März 1955 das Abitur ab.

Im Sommersemester 1955 begann ich an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz mit dem Studium der Zahnheilkunde, bestand am 21. Oktober 1957 das Physikum und am 7. November 1960 das zahnärztliche Staatsexamen.

Vom 15. November 1960 bis 1. Juli 1962 arbeitete ich als Assistentin in Ingelheim, anschließend war ich als Vertreterin meines Vaters in Bentheim tätig.

